
UNIVERSITY OF TORONTO
3 1761 01099833 4

HISTOIRE

UNIVERSELLE

PUBLIÉE

par une société de professeurs et de savants

SOUS LA DIRECTION

DE V. DURUY

HISTOIRE

DE

L'ASTRONOMIE

OUVRAGES DE M. HOEFER

PUBLIÉS PAR LA MÊME LIBRAIRIE

Histoire de la physique et de la chimie, 1 volume in-16, broché. . . . . 4 fr.

Histoire de la botanique, de la minéralogie et de la géologie, 1 vol. in-16, broché. . . . . 4 fr.

Histoire de la zoologie. 1 vol. in-16, broché . . . . 4 fr.

Histoire des sciences mathématiques. 1 vol. in-16, broché. 4 fr.

3916 — Paris. Imp. Laloux fils et Guillot, 7, rue des Canettes.

HISTOIRE
DE
L'ASTRONOMIE

DEPUIS SES ORIGINES JUSQU'A NOS JOURS

PAR

FERDINAND HOEFER

PARIS
LIBRAIRIE HACHETTE ET Cie
79, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 79
—
1873

HISTOIRE

DE

L'ASTRONOMIE

LIVRE PREMIER.

LES ORIGINES DE L'ASTRONOMIE.

CHAPITRE I.

FICTION ET RÉALITÉ.

En cherchant à remonter au berceau de l'astronomie, on est surpris de se voir tout à coup en face de documents propres à faire croire que, dès la plus haute antiquité, cette science se trouvait déjà dans un état relativement très-avancé. C'est là, à coup sûr, un résultat fort inattendu; on aurait dû se borner à le constater; mais on a voulu l'expliquer, et c'est alors qu'on a eu recours aux hypothèses les plus singulières.

Partant de l'idée que la civilisation suit, dans sa marche, le mouvement apparent du Soleil, on a d'abord supposé quelque part à l'orient un foyer de lumières, une espèce de peuple porte-flambeau. qui semblerait avoir eu

pour mission d'éclairer le reste du genre humain. Ce rôle a été attribué, non sans quelque raison, aux Égyptiens. Mais il l'a été aussi, en rétrogradant de plus en plus vers l'orient, aux Phéniciens, aux Babyloniens, aux Chaldéens, aux Hindous, aux Chinois même.

Afin de concilier tant d'opinions divergentes, on a imaginé le type d'une race civilisatrice, les Aryens qui, descendant des montagnes de l'Himalaya, dont les pics sont les plus élevés du globe, se seraient, comme un fleuve, divisés en plusieurs branches, pour aller féconder l'esprit des barbares de l'Occident, et civiliser particulièrement l'Europe. L'archéologie, l'érudition et la linguistique ont été mises au service de l'ethnologie pour appuyer cette hypothèse.

Sans doute, il en est des nations et des races comme des individus : il n'y en a pas deux qui soient physiquement et moralement identiques. L'inégalité est la grande loi des êtres vivants et pensants, individuels ou collectifs. Mais la constatation de ce fait est loin de résoudre la question ; car on pourra toujours demander d'où telle race ou nation, signalée comme civilisatrice, a tiré son fonds de lumières. L'a-t-elle tenu d'inspiration, ou l'a-t-elle reçu du dehors? Dans le premier cas, nous sommes en présence d'un mystère. Dans le second, la même question se renouvellera toujours.

Pour sortir d'embarras, on a mis en avant une autre hypothèse. On a supposé que, antérieurement à l'espèce humaine actuelle, la Terre avait été en possession d'une race très-intelligente, et que cette race était déjà parvenue à un haut degré de civilisation lorsqu'elle vint à disparaître dans quelque révolution de notre globe ; que les peuples qui lui succédèrent ont conservé la tradition de la race éteinte, et que les vestiges de cette tradition se retrouvent dans l'origine historique de l'astronomie.

Cette hypothèse est fort ancienne. Platon la connaissait ; il s'en rendit l'interprète dans le *Critias*, dialogue où il

parle de la fameuse Atlantide, dont le souvenir devait avoir été conservé par l'antique peuple d'Égypte. « Selon la tradition égyptienne, il s'éleva, dit-il, il y a neuf mille ans[1], une guerre générale entre les peuples qui sont au delà des colonnes d'Hercule. Athènes, notre patrie, fut à la tête de la première ligue, et elle acheva seule toute cette guerre. L'autre était dirigée par les rois de l'Atlantide.... L'Atlantide était une île, plus grande que l'Asie et l'Afrique ; elle a été submergée par des tremblements de terre, et à sa place on ne rencontre plus qu'un limon qui arrête les navigateurs et rend la mer impraticable. »

Ce récit a été traité de fable par tous les écrivains sérieux. Cependant l'Atlantide a été ressuscitée de nos jours par ceux qui admettent, pour le besoin de leurs théories, l'existence d'une longue série de générations humaines préhistoriques, en même temps qu'un état de civilisation remarquable chez ces populations, passées depuis à l'état fossile. Dans cette ardeur pour les choses antédiluviennes, on a été jusqu'à tracer la carte de l'Atlantide submergée. Sa topographie coïnciderait avec la *mer de Sargasse*. C'est ainsi qu'on appelle un vaste banc de plantes marines, situé dans l'océan Atlantique, à peu près au niveau des îles Açores, et qui occupe une superficie six fois plus grande que celle de la France.

Les habitants de l'Atlantide passaient pour un peuple modèle. « Ne connaissant, dit Platon, d'autre bien que la vertu, ils estimaient peu les richesses. Au lieu de se laisser enivrer par les délices de l'opulence et de perdre le gouvernement d'eux-mêmes, ils ne s'écartaient pas de la tempérance ; ils comprenaient à merveille que la concorde avec la vertu accroît les autres biens, et qu'en les recherchant avec trop d'ardeur on les perd, et la vertu avec eux. Mais les Atlantidiens ne continuèrent point à suivre ces

1. Il s'agit ici, bien entendu, de neuf mille ans révolus au temps de Platon, qui vivait 400 ans avant l'ère chrétienne.

beaux principes. Parvenus au comble de la gloire et de la prospérité, ils se laissèrent dominer par l'injuste passion d'étendre leur puissance et leurs richesses. Aussi ne tardèrent-ils pas à être punis par la colère céleste : leur île fut engloutie dans les flots. »

Cette légende ne rappelle-t-elle pas la race maudite qui fut anéantie par le déluge de Moïse? Nous l'aurions passée sous silence, si l'idée de la disparition soudaine d'une race civilisée, bien antérieure à la nôtre, n'avait pas été reprise et développée, à la fin du dix-huitième siècle, par Bailly. Il est curieux de voir sur quels arguments le savant auteur de l'*Histoire de l'astronomie* appuyait son opinion. Citons-en un exemple.

Aristote rapporte que de son temps les géomètres estimaient le degré terrestre de mille cent onze stades, et la circonférence de la terre de quatre cent mille stades. Bailly reconnaît qu'il ne saurait ici être question ni du stade grec, ni du stade alexandrin. « Le moindre de ces stades donnerait, ajoute-t-il, une mesure presque double de la véritable; les mesures les plus grossières ne comportent point de pareilles erreurs. »

C'est entendu. Mais que fait Bailly? Par un procédé tout à fait arbitraire, il assigne au stade à peu près la moitié de la valeur que lui donnait Aristote, et il trouve alors « que cette mesure donne le degré de cinquante-sept mille soixante-six toises, à six toises près celui qui est déterminé par les mesures modernes. » Puis, s'étonnant de cette précision, sans s'apercevoir qu'elle n'est que son œuvre, il s'écrie : « Savons-nous jusqu'où, dans les premiers temps, on avait porté la perfection de l'astronomie?... Cette mesure, précisément parce qu'elle est très-exacte, n'est point l'ouvrage des Grecs qui ont précédé Aristote. Nous ne voyons dans l'Asie aucune des anciennes nations à qui elle puisse appartenir. Ce qu'ont fait les Chinois et les Chaldéens dans ce genre n'est auprès de cette mesure qu'une approximation grossière. Cette

détermination, les progrès des sciences et des arts qu'elle suppose, ne peuvent être attribués qu'à un peuple inconnu dans l'antiquité[1]. »

A force de revenir sur la même idée, purement fictive, l'auteur de l'*Histoire de l'astronomie* a fini par la prendre pour l'expression même de la vérité. Il ne semble pas se douter combien il sera difficile de faire partager son sentiment à des juges non prévenus.

C'est encore se payer de mots que de prétendre que l'école pythagoricienne n'a jamais conçu le Soleil placé au centre du monde. Savez-vous pourquoi? Parce qu'à l'époque de Pythagore (au sixième siècle avant notre ère) « les Grecs ne faisaient, dit Bailly, qu'entrer dans la carrière astronomique. » Puis il ajoute que « ce système, renouvelé par Copernic, s'est conservé dans l'Inde. » Cette dernière assertion, complétement dénuée de preuves, devait venir à l'appui de la même thèse, soutenue par l'auteur. Et voici comment : « Il n'est pas douteux, — nous citons textuellement, — que Pythagore l'a puisé (le vrai système du monde) à cette source (l'Inde). Mais si les Indiens l'ont transmis à Pythagore, ce système n'était point leur ouvrage; il venait de l'héritage du peuple qui a tenu le sceptre des sciences dans l'Asie. Ce système, ainsi que les périodes inventées, les méthodes qu'elles exigent, ne sont point les seuls restes de son génie. On lui doit peut-être toutes les idées philosophiques qui ont éclairé le monde. Ces méthodes savantes, pratiquées par des ignorants, ces systèmes, ces idées philosophiques, dans des têtes qui ne sont point philosophes, tout indique un peuple antérieur aux Indiens, aux Chaldéens, peuple qui eut des sciences perfectionnées, une philosophie sublime et sage, et qui, en disparaissant de dessus la Terre, a laissé aux peuples qui lui ont succédé quelques vérités isolées, échappées à la

1. Bailly, *Histoire de l'astronomie ancienne*, p. 78 (2e édit., Paris, 1781, in 4°).

destruction, et que le hasard nous a conservées. Ainsi, l'antiquité, si célèbre parmi les nations savantes, n'offre, depuis les Chaldéens et les Indiens jusqu'à Hipparque, que les débris des connaissances dont le nom même est inconnu[1]. »

Il est difficile d'affirmer avec plus d'assurance. Ce peuple qu'on fait venir de l'Asie, et qu'on aurait pu, avec tout autant de raison, faire venir de l'Afrique, ce peuple inconnu, qu'on donne pour avoir inventé tant de belles choses, dont les Égyptiens, les Chaldéens, les Indiens, auraient recueilli les débris, a été évidemment imaginé pour le besoin d'une théorie préconçue, qui, comme toute erreur, porte en elle-même son propre châtiment. En effet, une fois engagé dans une pareille voie, on ne devra plus, sous peine d'inconséquence, s'arrêter à demi-chemin. Ce peuple inconnu, si étonnant par son génie, aura donc dû lui-même succéder à un autre, plus inconnu et plus étonnant encore, et ainsi de suite en rétrogradant. A moins que, pour ne pas continuer la série indéfiniment, on ne veuille admettre que ce peuple-lumière a tout tiré de son propre fonds. Ce serait alors une création, dans le véritable sens du mot. Mais ne serait-ce pas là revenir à cet âge légendaire où la Terre était occupée par une race rivale des Dieux?

Allons au fond des choses.

Rien n'est plus difficile que de s'abstraire du milieu où l'on vit. C'est ainsi qu'aujourd'hui nous avons de la peine à nous persuader que nos premiers ancêtres furent de vrais sauvages. Plus d'un de nos historiens modernes s'est senti blessé, dans son amour-propre national, de voir nos classiques de l'antiquité traiter de *barbares* les Bretons, les Gaulois, les Germains. Et cependant nous n'avons qu'à interroger l'histoire. A l'époque où la Grèce était à l'apogée de sa splendeur, qu'étaient les habitants de

1. Bailly, *loc. cit.*

l'Albion, de la Gaule et de la Germanie? C'étaient des peuplades, aussi sauvages, aussi barbares que le sont aujourd'hui pour nous les peuplades de l'intérieur de l'Amérique. Les aïeux de César et de Tacite n'étaient encore qu'un peuple de bandits quand Hérodote se faisait applaudir aux jeux Olympiques par la lecture de ses livres d'histoire qu'il avait dédiés aux Muses. Les Grecs eux-mêmes, qu'étaient-ils au temps de la grandeur de Memphis, de Sidon, de Tyr, de Ninive, de Babylone?

Si maintenant nous comparons l'état actuel de l'Égypte, de la Phénicie, de la Mésopotamie, redevenues barbares, aux lumières de l'Europe occidentale, que couvraient, il y a trois mille ans, d'épaisses ténèbres, nous arrivons à cette conclusion que la marche de l'esprit humain est indépendante des conditions de l'espace occupé par la matière, et que le temps est l'espace que la pensée parcourt en se perfectionnant. Supprimez la transmission de la pensée à travers les siècles, et vous aurez l'état sauvage. Cet état, qui peut avoir duré des milliers d'années, voilà l'époque *antéhistorique* ou *préhistorique* (peu importe le nom) pour les nations qui ont une civilisation, une histoire. Et il dure encore pour beaucoup de peuplades de l'Ancien et du Nouveau Monde.

Mettre un sauvage ou un enfant en présence du ciel et de la terre, et l'interroger sur ce qu'il pense là-dessus, c'est chercher l'origine de la science. Voilà le point lumineux qui nous servira de guide.

CHAPITRE II.

LA CURIOSITÉ EN FACE DU CIEL.

En contemplant la voûte céleste, l'esprit humain se recueille comme s'il sentait d'instinct la grandeur des problèmes qui vont surgir. Qu'est-ce que ces globes de feu, dont l'un blesse les yeux par la vivacité de sa lumière, tandis que l'autre tempère, par sa douce clarté, l'ombre de la nuit? Qu'est-ce, en un mot, que le Soleil et la Lune? Qu'est-ce que ces points scintillants qui brillent au ciel comme des clous dorés sur une voûte?

Questions d'un enfant qui passe. — Réponse d'un géant qui reste. — L'enfant qui passe, c'est l'homme qui, pendant une vie si courte, se donne à peine le temps de jeter autour de lui un coup d'œil scrutateur. Le géant qui reste, c'est le corps immortel du progrès, représenté par la science.

Faisons une hypothèse. Supposons que notre atmosphère, au lieu d'être transparente, soit constamment opaque, pareille à un brouillard impénétrable. C'était là très-probablement l'état de notre océan gazeux, de notre atmosphère, à une époque où les eaux devaient être réduites en vapeur par l'incandescence de la masse du globe. Quel mortel aurait pu alors, je le demande, deviner les splen-

deurs célestes dérobées à nos regards par l'interposition d'un misérable écran aqueux? Bien hardi aurait été celui qui aurait osé seulement soupçonner quelque chose au delà. Cependant le phénomène, perpétuellement renouvelé, de la clarté diffuse du jour alternant avec l'obscurité de la nuit n'aura pas manqué de fixer l'attention. Mais, comment l'expliquer? N'admettant que ce qui est expérimentalement démontrable, les esprits forts de ce monde antédiluvien auraient rejeté comme une vaine hypothèse toute explication fondée sur l'existence d'un foyer caché, resplendissant. Le moyen, en effet, de concevoir seulement la possibilité d'un Soleil pour celui qui vivrait, depuis la naissance jusqu'à la mort, constamment emprisonné sous une calotte de vapeur dense! Le fœtus, au sein de sa mère, lors même qu'il aurait déjà reçu la raison en partage, pourrait-il rien imaginer de ce qui existe au delà de sa prison temporaire?

Convenons donc qu'avec l'existence d'une atmosphère opaque l'astronomie aurait été impossible; tout ce qu'on aurait pu dire sur les astres par voie d'intuition interne aurait été aussitôt relégué dans le domaine de la fable.

Supposons maintenant que des éclaircies eussent soudain montré çà et là l'astre du jour sur la voûte azurée. Les habitants des localités ainsi favorisées se seraient sans doute empressés de faire part aux autres de l'apparition dont ils auraient été témoins. Mais comment faire admettre à tous un phénomène que quelques-uns seulement auraient affirmé avoir vu? Un phénomène, à la fois aussi étrange et aussi circonscrit dans sa manifestation, n'aurait-il pas eu tous les caractères d'un miracle?

Enfin si ce brouillard épais, que nous avons supposé envelopper de toute part le globe terrestre, était venu à se dissiper tout à coup par l'action d'un souffle puissant, quelle impression n'en aurait pas reçue la population terrestre ainsi dotée de la lumière? Le Soleil, la Lune, les étoiles n'auraient point tardé à être universellement

adorés comme des divinités; les magnificences soudainement révélées du ciel, qu'aucune imagination n'aurait osé enfanter, auraient subjugué le monde au point que le culte des astres se serait imposé à tous comme une religion, la religion de la nature.

Mais il était écrit que ce n'est pas ainsi que les choses se passeraient. Que deviendrait la liberté de l'esprit, qui n'arrive à la vérité que par le doute, si l'inconnu de l'au delà venait tout à coup se dévoiler aux yeux de tous ceux qui vivent en deçà?

Les nuages, suspendus dans l'atmosphère, n'interceptent que momentanément la vue des astres, comme pour nous habituer peu à peu au spectacle céleste, et pour mieux stimuler notre curiosité. S'il y a des régions où la transparence de l'atmosphère est presque constamment troublée, — et jamais dans ces régions brumeuses l'astronomie n'aurait pu prendre naissance, — il y en a d'autres où rarement des nuages dérobent la vue du ciel. Les vallées de l'Euphrate et du Nil, la Chaldée et l'Égypte sont dans ce cas. Or, c'est précisément là que l'on a placé, avec raison, le berceau de l'astronomie.

Quel est l'objet du monde qui frappe le plus l'œil de l'homme? C'est le Soleil, astre qui éclaire, qui échauffe et vivifie tout. La lumière nous met en communication directe avec les astres, avec l'univers ; elle donne le rapport physique qui lie entre elles toutes les parties du grand tout. Comment l'intelligence humaine a-t-elle procédé pour comprendre et expliquer ce spectacle grandiose?

En l'absence de documents historiques, adressons-nous à l'observation et au raisonnement, à notre outillage naturel.

Pour débarrasser la vue de tout obstacle, établissons notre observatoire dans une plaine unie. Que nous portions notre regard en avant ou en arrière, à droite ou à gauche, peu importe sa direction, nous nous croirons toujours placés exactement au milieu de cette plaine. La réu-

nion de tous les points, qui limitent notre vue là où le Ciel et la Terre semblent se confondre, forme une ligne courbe parfaite. Cette ligne courbe, fermée de toute part, limite ou circonscrit un plan circulaire, un cercle, dont l'observateur occupe le centre. En géométrie, elle se nomme *circonference*, en astronomie, *horizon*, mot dérivé du grec ὁρίζων, qui signifie littéralement *limitant*. L'observateur occupant le centre du cercle, toutes les lignes droites qui partent de là pour aboutir à l'horizon ou à la circonférence, sont égales entre elles. Pour le géomètre, ce sont les *rayons* d'un cercle ; pour l'astronome, ce sont des droites *horizontales*. Les droites qui, en passant par le centre, aboutissent à deux points opposés de la circonférence ou de l'horizon, sont les *diamètres* du même cercle; ceux-ci, comme les rayons, sont tous égaux entre eux. La surface ou le plan, formé par la somme de tous ces diamètres (un nombre infini), est ce qu'on a nommé la surface circulaire ou le *cercle horizontal*.

Voilà comment à leur origine l'astronomie et la géométrie ont dû se confondre.

Mais continuons. Le point milieu de la plaine, le centre du plan horizontal, a été considéré comme l'extrémité d'une ligne qui, s'élévant du sol, passe entre les pieds et le *vertex* (nom latin du sommet de la tête) de l'observateur, dont elle divise le corps en deux moitiés symétriques. La ligne médiane du corps se trouve, chose remarquable, indiquée sur les os mêmes du crâne par une véritable suture. Prolongée au-dessus du vertex, elle aboutit au sommet de la voûte céleste, au *zénith;* prolongée au-dessous des pieds, elle passera par le centre de la terre, pour aboutir... à quoi? Cette question devait rester longtemps indécise ; elle ne fut résolue qu'après qu'on eut acquis la certitude, — la plus brillante conquête de la science,— que la Terre n'a ni racines, ni support, ni points d'attache, qu'elle n'est point un disque au-dessus duquel la voûte céleste s'étendrait comme la toile d'une tente ar-

rondie, mais qu'elle est librement suspendue dans l'espace, au milieu de la sphère céleste. Ce fut alors seulement que la ligne médiane, que la ligne *verticale*, c'est ainsi qu'on l'appelle, devait, dans l'opinion des premiers observateurs sérieux, aboutir au *nadir*, point diamétralement opposé au zénith[1]. Au même moment devait se présenter à l'esprit l'idée que le monde, pris dans le sens le plus étendu, que le Ciel, en un mot, est une sphère creuse dont la moitié supérieure est égale à la moitié inférieure, et que ces deux *hémisphères* (demi-sphères) sont séparés l'un de l'autre par l'horizon. On pourrait aussi partager la même sphère en deux autres moitiés, l'une orientale, l'autre occidentale, par une section droite, passant tout à la fois par la tête de l'observateur, par le centre du Soleil à midi, et par le point nord, dont il sera plus loin question. Le *cercle horizontal* et le *cercle vertical*, se coupant de manière à former deux angles égaux (angles droits), puis l'*arc* et la *corde*, ces éléments de l'arme primitive, transportés au ciel, voilà les premiers guides naturels de l'astronomie.

Mais que devint alors la Terre, qu'on avait d'abord imaginée si grande? Elle fut réduite, par une conception hardie, à la valeur d'un simple point. Mais en même temps, comme pour la dédommager de son amoindrissement, on lui assignait la place d'honneur, le *centre* de la sphère du monde. Elle devait, de plus, demeurer *immobile*, comme un chef qui ferait défiler devant lui son armée, — l'armée des corps célestes.

Voilà comment, dès le principe, l'erreur prit possession de l'esprit humain. L'erreur s'y cantonna comme dans une forteresse, ce qui devait lui être d'autant plus facile, qu'elle s'y était introduite au moyen d'une parcelle de vérité. La

1. *Zénith* et *nadir* sont deux termes relativement modernes; d'origine arabe, ils signifient le premier *au-dessus*, et le second *au-dessous*. Mais longtemps avant les Arabes les astronomes avaient parlé de la ligne qui, passant par le *vertex* de l'observateur, va aboutir à deux points opposés de la sphère céleste.

Terre réduite à un simple point, comparativement à la grandeur du monde, c'était là une idée parfaitement vraie. Mais elle venait elle-même de cette idée fausse que la Terre occupe le centre de la sphère du monde, et que, comme *centre*, la Terre ne pouvait être qu'un point et un point sans mouvement.

Quoi qu'il en soit, le ciel semble avoir imposé à l'homme, dans la recherche du vrai, l'inévitable tâche de distinguer perpétuellement, sous peine d'erreur, l'*apparence* de la *réalité*. Considérée à ce point de vue, la science offre un incomparable attrait. Qu'y a-t-il, en effet, de plus attrayant et de plus instructif que le spectacle de l'homme aux prises tout à la fois avec ce qui vient de sa propre conception et avec ce qui n'est pas de création humaine?

Les premiers bégayements astronomiques portent l'empreinte de ce redoutable antagonisme. Essayons de mettre ceci en lumière.

En voyant le Soleil se lever et se coucher pour nous ramener alternativement le jour et la nuit, qui aurait été assez téméraire pour soutenir, contrairement à tous les témoignages, que ce n'est pas le Soleil, mais la Terre qui tourne? Il y avait cependant un fait bien connu, à savoir que, lorsque, assis dans une barque, nous glissons rapidement à la surface de l'eau, c'est le rivage qui paraît s'éloigner, pendant que nous-mêmes nous nous croyons immobiles à la même place. C'est ainsi que le poëte associe sciemment la réalité à l'apparence, quand il dit :

...... Provehimur portu
Campi littoraque recedunt.

Là personne ne se trompe ; il serait impossible de vouloir substituer ce qui est à ce qui paraît. Mais il y a des hommes auxquels la facilité de confondre l'apparence avec la réalité a dû, dès le principe, donner à réfléchir. L'intelligence est donc obligée d'intervenir pour rectifier les sens : les actes de la vision le prouvent. Aussi plus d'un

penseur a pu, bien avant Pythagore, se dire, en généralisant le fait cité, que *les illusions de la vue ne doivent pas s'arrêter seulement aux objets qui nous entourent, mais qu'elles doivent s'étendre jusqu'aux astres*. C'est ainsi que, de raisonnement en raisonnement, on sera sans doute arrivé à se demander pourquoi, au lieu du Soleil, ce ne serait pas la Terre qui *tourne*.

La question est trop simple pour qu'elle ne soit pas venue naturellement à plus d'un esprit.

Mais déjà l'autorité était là pour arrêter cet élan primordial. Ptolémée, qui s'était fait l'organe de l'astronomie ancienne, connaissait parfaitement l'opinion d'après laquelle la Terre tourne, opinion qu'on attribue généralement aux pythagoriciens, mais qui en réalité était celle de ces sentinelles avancées, de ces esprits indépendants que, dans tous les temps, la science dominante traite avec une dédaigneuse insolence. Écoutez ce pontife de la science traditionnelle : « Il y a des gens qui pensent que rien n'empêche de supposer le Ciel immobile et la Terre tournant autour de son axe, d'occident en orient, dans l'espace d'un jour.... Sans doute, si l'on ne considère que les apparences des astres, rien ne s'oppose à ce que, pour *plus de simplicité* (κατά γε τὴν ἁπλουστέραν ἐπιβολὴν), — aveu précieux ! — il n'en soit ainsi. Mais cette opinion est *souverainement ridicule* (πάνυ γελοιότατον), quand on voit ce qui se passe autour de nous et dans l'air[1]. »

Ptolémée ne fait que reproduire, — c'est pourquoi nous le citons, — les arguments qui devaient, en tout temps, faire impression sur les esprits incultes. « Eh quoi ! la Terre, dit-il, tournerait autour d'elle-même en vingt-quatre heures !... Mais les corps qui ne sont pas appuyés sur elle devraient alors avoir un mouvement contraire à celui de la Terre, et aucun nuage, ni aucun projectile lancé, ni aucun oiseau ne paraîtrait se diriger vers l'orient; la Terre

1. Ptolémée, *Syntaxis mathematica* (Almageste), I, 6.

les précéderait toujours dans cette direction, elle anticiperait sur ces corps par la vitesse de son mouvement rotatoire.... » Puis, allant au-devant d'une objection à laquelle il semblait s'attendre, Ptolémée ajoute : « Si ces gens disaient (ceux qui supposaient que la Terre tourne, le Soleil restant immobile) que l'air, faisant partie de la Terre, est emporté avec la même vitesse que celle-ci dans son mouvement de rotation, il n'en serait pas moins vrai que les corps qui s'y trouvent n'auraient pas la même vitesse, ou s'ils étaient entraînés comme s'ils étaient unis à l'air, on n'en verrait aucun ni précéder ni suivre, tous paraîtraient stationnaires, et, soit qu'ils volassent ou qu'ils fussent lancés, aucun n'avancerait ni ne retarderait jamais. Pourtant nous les voyons tous se déplacer, comme si le mouvement de la Terre ne devait leur apporter ni accélération, ni retard. »

Que des hommes étrangers à toute science raisonnent ainsi, cela se comprend : c'est le langage que tiennent encore aujourd'hui tous les ignorants quand on leur parle du mouvement de la Terre. Mais que ces mêmes arguments se retrouvent sous la plume de celui qui se glorifiait « de n'avoir rien avancé qui ne fût mathématiquement démontré, » voilà ce qui dépasse tout ce qu'on saurait imaginer. S'il n'avait pas été aveuglé par la théorie, Ptolémée aurait compris que la hauteur de l'atmosphère où se tiennent les nuages, où s'élèvent les oiseaux, etc., est aussi insignifiante, relativement à la grandeur de la Terre, que la couche d'air qui remplit les petits creux d'une écorce d'orange, et que, par conséquent, l'atmosphère doit faire corps avec la terre dont elle couvre la surface.

Les anciens parlaient comme s'ils n'avaient jamais observé que lorsqu'on lance un projectile en l'air pendant qu'on se tient sur un char en mouvement, le projectile retombe sans avoir sensiblement dévié du point d'où il avait été lancé. Cette enfantine expérience aurait dû déjà donner à réfléchir aux adversaires des pythagoriciens.

Mais ces mêmes hommes, par suite d'une impulsion ori-

ginelle, vicieuse, de la civilisation, étaient déjà dépourvus de ce tact d'observateur qui rend l'esprit attentif aux plus petites choses. Aussi a-t-on attendu jusqu'à nos jours pour avoir la démonstration complète de la rotation de la Terre. Cependant, à quiconque avait des yeux pour voir, il ne manquait pas l'occasion de constater qu'un fil, librement suspendu par un bout et chargé d'un petit poids par l'autre, oscille toujours dans le même plan initial, quel que soit le déplacement imprimé au support où se trouve fixée la tige à laquelle est attaché le fil oscillant, et que si le plan dans lequel se meut le fil était dirigé, par exemple, de l'est à l'ouest, il conserverait toujours la même direction, lors même que le support serait successivement tourné vers tous les points cardinaux. Eh bien, ce fait si simple demeura inaperçu ou stérile pendant des milliers d'années. Ce n'est que dans l'esprit d'un de nos contemporains, dans l'esprit de Léon Foucault, qu'il fit germer et réaliser l'expérience qui donna la démonstration de l'antique conception de la rotation de la Terre autour de son axe.

Pardonnons aux anciens leurs péchés d'omission. Il y a encore tant de passants dont on pourrait dire : « Ils ont des yeux pour voir, et ils ne verront point, *oculos habent, et non videbunt!* » Mais ce qui est moins pardonnable, c'est que les anciens, sachant, comme nous l'avons dit, que la Terre n'est qu'un point relativement à la sphère céleste, n'en aient pas immédiatement conclu qu'entre la Terre et ses habitants il doit y avoir le même rapport qu'entre une boule raboteuse susceptible d'être lancée par la main et les imperceptibles animalcules qui pourraient être logés dans les anfractuosités de sa surface et qui ne s'apercevraient en aucune façon du mouvement de leur domicile.

Voici les arguments employés par Ptolémée pour démontrer une chose parfaitement exacte, à savoir que « la Terre n'est qu'un point relativement à la sphère des étoiles fixes. »

Le premier argument, mis en avant, repose sur un fait que tous les voyageurs peuvent constater : les étoiles, dans quelque zone qu'on les observe, conservent toujours la même grandeur et ne changent pas de distance entre elles. Le second argument était plus spécieux ; il tendait à d'établir que « les gnomons et les centres des sphères armillaires, placés dans quelque endroit que ce soit de la Terre, montrent les apparences des ombres avec autant de précision que si ces instruments étaient placés au centre même de la Terre. » Enfin, l'argument le plus irrésistible était que toute section horizontale coupe la sphère céleste en deux portions égales, « ce qui, ajoute Ptolémée, ne pourrait pas se faire si la grandeur de la Terre avait un rapport sensible avec la distance des astres. Si cette distance avait une valeur sensible, il n'y aurait plus que le plan passant par le centre de la terre qui pût partager la sphère céleste exactement en deux moitiés [1]. » — Mais il croyait que ce plan ne pourrait lui-même partager la sphère céleste exactement en deux moitiés qu'à la condition que la Terre occupât le centre de cette sphère, — ce qui était complétement faux.

Voilà comment l'erreur ou la fiction accompagne la vérité : celle-là se trouve mêlée à celle-ci comme l'ivraie au bon grain. C'est à l'homme, c'est à l'observateur de *surveiller l'emploi de son outillage, naturel ou artificiel, de s'appliquer sans cesse à le corriger et à le perfectionner*. Ce n'est qu'à cette condition que le progrès se fait, que la science marche. C'est là ce que je tenais à mettre préalablement en relief avant d'aborder l'histoire proprement dite de l'astronomie.

Au défaut des premiers documents historiques, je continuerai, suivant mon plan, à suppléer par les raisonnements d'un enfant ou d'un simple curieux qui voudrait se rendre compte du spectacle de la Nature.

1. Ptolémée, *Almageste*. I, 5.

CHAPITRE III.

ACQUISITION NATURELLE DES PREMIÈRES DONNÉES DE L'ASTRONOMIE.

Voici une observation que tout homme, civilisé ou sauvage, pourra faire dans une belle nuit d'hiver, pourvu qu'il ait la patience — qualité rare — de fixer du regard pendant longtemps un groupe d'étoiles, situé près de l'horizon, du côté où il a vu le matin le Soleil se lever. Supposons que le groupe d'étoiles ainsi fixé soit Orion, la plus brillante constellation de notre ciel, et qu'on n'en aperçoive d'abord, au-dessus de l'horizon, que deux étoiles figurant les épaules du personnage mythologique transporté au firmament. Assez rapprochées l'une de l'autre, ces deux étoiles sont situées sur une ligne presque horizontale et très-faciles à distinguer par leur éclat; celle de l'épaule droite[1], correspondant à l'épaule gauche de l'observateur tourné vers l'orient, est de première grandeur et d'une couleur jaune tirant sur le rouge; celle de l'épaule gauche[2] est d'un éclat bleuâtre très-marqué. Ne les perdez pas du regard : vous verrez peu à peu l'intervalle

1. L'α d'Orion, qui porte le nom arabe de *Betelgheuse*.
2. Le γ d'Orion, nommée *Bellatrix*.

qui les sépare de l'horizon s'élargir. Bientôt apparaîtra une première, puis une seconde, puis une troisième étoile, toutes les trois d'un même éclat, bien plus rapprochées les unes des autres que les deux premières, et disposées toutes les trois sur une ligne oblique : c'est le baudrier du chasseur Orion « que ravit Aurore aux doigts de roses [1]. » Mais la partie inférieure de son corps « demeure encore plongée dans les eaux de l'Océan. » Encore un peu de patience, et vous aurez devant vous un spectacle splendide : quatre magnifiques étoiles représentant, sous la forme d'un quadrilatère, les épaules et les genoux d'un géant, à la ceinture duquel brillent les trois diamants du baudrier, d'où pend une dague dessinée comme à l'estompe par une multitude de petites étoiles (de troisième et de quatrième grandeur). Au-dessous et à droite (à gauche de l'observateur) du genou droit, moins brillant que le genou gauche, vient scintiller, d'un reflet bleu, la plus belle étoile de notre ciel, Sirius.

Tel est l'ensemble de la constellation qui, suivant l'antique poésie homérique, figure Orion sortant du bain et suivi de son chien favori, Sirius.

Restons encore un peu l'œil au guet : la brillante constellation continue à s'élever au-dessus de l'horizon ; puis, après avoir atteint le point le plus élevé de sa course, elle descendra avec la même lenteur majestueuse pour disparaître au-dessous de l'horizon. En réunissant le point de son lever et le point de son coucher au point le plus élevé de son apparition au-dessus de l'horizon, on trouve que la constellation décrit une courbe, une portion de circonférence, en un mot, l'*arc* d'un cercle dont le reste demeure caché au-dessous de l'horizon.

Cette observation, fort simple, en aura sans doute amené une autre, plus importante encore, à savoir que toutes

1. Homère, *Odyssée*, V, 121 : Ὥς μὲν ὅτε Ὠρίων' ἕλετο ῥοδοδάκτυλος Ἠώς.

les étoiles participent au même mouvement de rotation, et que ce n'est pas seulement une constellation, mais que *toute la voûte céleste tourne de l'orient à l'occident.*

Cependant l'acquisition de cette donnée principale suppose déjà un certain degré d'attention. Aussi doit-elle être beaucoup moins ancienne que celle qui nous montre l'astre du jour décrire également un arc de cercle. Les points par lesquels on désignait *le lever*, *le midi* et *le coucher*, ne devaient, pendant longtemps, s'appliquer qu'au Soleil.

A l'époque d'Homère (environ neuf cents ans avant notre ère), on croyait que la Terre, entourée du fleuve *Okéanos*, remplissait de sa masse la moitié inférieure de la sphère du monde, tandis que la moitié supérieure s'étendait au-dessus, et que *Hélios* (le Soleil) éteignait chaque soir ses feux pour les rallumer le matin, après s'être baigné dans les eaux profondes de l'Okéanos.

Comment de pareilles croyances pouvaient-elles faire naître l'idée que le mouvement qui entraîne les étoiles, entraîne en même temps le Soleil et la Lune?

D'après les plus anciennes conceptions, fondées sur des illusions qu'un esprit inculte partage avec l'enfant, il ne devait y avoir aucune continuité entre le ciel de la nuit, où brillent les étoiles, et le ciel sur lequel s'était repandue la clarté du jour. Celui qui osa le premier soutenir que pendant le jour le ciel est parsemé d'étoiles aussi bien que pendant la nuit, et que, si nous ne les y voyons pas le jour, c'est qu'elles sont éclipsées par la lumière du Soleil, celui-là fut certainement un observateur plein de génie et de hardiesse. Son nom ne nous a pas été conservé; il appartient sans doute à la période préhistorique.

La découverte que l'hémisphère céleste supérieur est continu avec l'hémisphère céleste inférieur, cette découverte mit définitivement fin à tout ce qu'on avait dit sur la manière dont la Terre devait être fixée dans l'espace. Que n'avait-on pas imaginé à cet égard? D'après une opi-

nion très-ancienne, dont les traces se rencontrent dans l'Ancien Testament, la Terre était un cube, attachée par ses coins à la voûte du firmament. D'autres croyaient que la Terre était un disque, gardé par un serpent enroulé ou protégé par le fleuve Okéanos. Quelques philosophes, renchérissant sur les fictions mythologiques qu'ils avaient l'air de dédaigner, donnaient à la Terre la forme d'une timbale, dont les pieds devaient, comme autant de racines, s'étendre à l'infini. Epicure, qui admettait comme exacte la croyance populaire, d'après laquelle les astres s'éteignent quand ils se couchent et se rallument quand ils se lèvent, enseignait que le globe terrestre est assujetti par des ligaments, comme la tête l'est au cou et au tronc.

Ces fictions usurpèrent, durant des siècles, la place de la vérité. Leur ténacité est d'ailleurs facile à comprendre. Ne faut-il pas un effort surhumain pour se persuader que la Terre qui nous porte, que notre commun support est un corps céleste, librement suspendu dans l'espace? *Assimiler la Terre à un corps céleste*, à un astre, ce fut là, en effet, une idée audacieuse, qui ne devait se faire jour que très-lentement. Les sens qui nous trompent, l'emportèrent encore longtemps sur l'esprit qui a pour mission de les corriger. Vaincre l'apparence au profit de la réalité, n'est-ce pas nous vaincre nous-mêmes avec tous nos préjugés?

Mais revenons à l'observateur qui avait suivi le mouvement de la belle constellation d'Orion, et laissons-le continuer son travail. La similitude de ce mouvement avec celui du Soleil fut sans doute pour lui un trait de lumière : il devait fournir un moyen d'orientation certain. En se plaçant de manière que le lever était à sa gauche et le coucher à sa droite, l'observateur avait le midi, point culminant, en face de lui, et le nord au dos. Après s'être ainsi orienté, quelques nuits d'observation lui auront, comme à tout autre, suffi pour apprendre que, de quelque côté qu'on se tourne, on voit toujours les étoiles appa-

raître, les unes après les autres, au levant, en conservant entre elles leurs distances angulaires, s'élever à des hauteurs inégales au-dessus de l'horizon, et disparaître au couchant. Que conclure de ce fait? Que *les étoiles tournent comme si elles étaient invariablement fixées au ciel comme à une sphère solide*, et que ce mouvement de rotation de la sphère céleste s'effectue de l'orient à l'occident.

Or, comme tout mouvement de roue ou de rotation (de *rota*, roue) suppose un axe, le même observateur se sera immédiatement enquis de l'*axe de la sphère céleste*, et les mêmes faits devaient le conduire comme par la main, pour le faire arriver à ce qu'il cherchait. Et voici comment. Les étoiles, qui ont leur point de culmination au zénith, décriront les plus grands arcs. Abaissant de là le regard vers le midi, l'observateur aura vu les arcs, décrits par les étoiles, diminuer de manière à se réduire à un seul point : là, une étoile ne fera qu'apparaître et disparaître presque aussitôt, le point culminant ne faisant qu'un avec les points de lever et de coucher ; le lieu, ainsi occupé par une étoile, n'est donc que le point d'un arc qui appartient à la circonférence d'un cercle entièrement caché au-dessous de l'horizon. En portant son regard vers le nord, le même observateur aura été frappé d'un spectacle tout différent. Si, du côté du midi, il a vu des étoiles ne rester que peu de temps au-dessus de l'horizon, il en apercevra maintenant d'autres qui restent constamment au-dessus de l'horizon, en décrivant, non plus de simples arcs, mais de véritables cercles. Ces cercles vont en se rétrécissant, ils sont concentriques : tout en diminuant de diamètre, ils continuent, avec les étoiles qui en marquent la circonférence, à tourner autour d'un point fixe.

Ce point fixe, c'est l'une des deux extrémités de l'axe cherché, c'est l'un des pôles du monde, c'est le *pôle boréal* ou nord. L'autre extrémité de l'axe, quoiqu'elle soit invisible, n'en existe pas moins ; ce sera le *pôle austral* ou

sud. Les constellations qui avoisinent le pôle sud, les constellations circompolaires australes demeurent perpétuellement cachées pour nous, habitants de la zone septentrionale, comme les constellations circompolaires boréales demeurent constamment au-dessus de notre horizon.

C'est le pôle boréal qui a servi de point d'orientation aux premiers contemplateurs sérieux du ciel étoilé, de même que les constellations circompolaires boréales, telles que la Grande et la Petite Ourse, ont servi de guide aux navigateurs qui les premiers ont osé s'éloigner des côtes.

Pourquoi le pôle nord, marqué par une étoile (l'étoile Polaire), fut-il, dès l'origine, destiné, de préférence au pôle austral, à remplir le rôle de guide? Parce que notre civilisation ou notre histoire a eu son berceau dans l'hémisphère boréal, et que le foyer de la lumière intellectuelle continue à y siéger. C'est aussi pourquoi le ciel austral est beaucoup moins connu que le ciel boréal.

Par l'axe du monde, par la ligne qui joint les deux pôles, on peut faire passer une infinité de plans ou de sections de la sphère céleste. Pour fixer ou déterminer un de ces plans, trois points sont nécessaires, et nous n'en avons ici que deux : les deux pôles. Heureusement que le troisième point est tout trouvé : c'est le zénith ou l'extrémité de la droite perpendiculaire au plan de l'horizon, droite indiquée par la chute d'un corps pesant, ou par un fil fixe auquel se trouve attaché un poids. L'observateur n'avait qu'à couper idéalement la sphère céleste, en faisant passer sa section par son *vertex* et les deux pôles, pour avoir un plan perpendiculaire à l'horizon. Voilà donc deux plans circulaires parfaitement déterminés, l'un horizontal et l'autre vertical. Ce dernier a même reçu un nom particulier ; il se nomme le plan méridien, ou simplement le *méridien*, parce que le Soleil y passe à midi, comme tout autre astre arrivé, pendant sa révolution diurne, au plus haut point de sa courbe, relativement à l'observateur.

On sentit probablement de bonne heure combien il importait, pour déterminer la position des astres, d'observer exactement leur hauteur ou leur passage au méridien. Mais comme plusieurs astres peuvent être en même temps situés sur la même ligne, ou dans le même plan, on devait bientôt comprendre la nécessité de couper le cercle méridien par un autre cercle pour avoir, au point d'intersection, la position exacte d'un astre donné.

Reprenons ici la place de l'observateur que nous avons mis en scène. Les cercles décrits par les étoiles, pendant le mouvement diurne, sont tous perpendiculaires à l'axe du monde, sur lequel sont situés leurs centres; ils sont conséquemment tous parallèles entre eux. Le plus grand de ces *parallèles célestes*, — c'est le nom qu'on leur donne, — passe par le centre de la sphère, qu'il partage ainsi en deux moitiés, l'hémisphère boréal et l'hémisphère austral; ce grand cercle se nomme l'*équateur du monde*. Les *cercles méridiens* d'une part, et les *cercles parallèles* de l'autre, ces derniers allant, de chaque côté de l'équateur, en diminuant vers les pôles, fournirent ainsi, par leurs points d'intersection, de bonne heure les éléments les plus propres à fixer la position des astres. Le cercle horizontal ne pouvait guère se prêter à cette fixation; car chaque lieu de la Terre a son horizon, et les horizons de différents lieux sont loin d'être parallèles entre eux. Voilà un fait que tous les voyageurs peuvent constater aisément. Pour cela il suffit d'observer, dans un point septentrional, une étoile très-rapprochée de l'horizon, et d'aller de là du midi au nord, dans le plan du méridien. A mesure qu'on avance vers le nord, on verra l'étoile s'élever de plus en plus au-dessus de l'horizon. Si l'observateur va, au contraire, du nord au midi, il verra la même étoile se rapprocher de plus en plus de l'horizon, de manière à finir par disparaître au-dessous. Qu'induire de là si ce n'est que *les horizons des différents lieux de la terre ne sont point parallèles entre eux*, et que les verticales, auxquelles les horizons sont perpen-

diculaires, s'inclinent, ainsi que les horizons, vers le nord si l'on va du midi au nord, et vers le midi, si l'on va du nord au midi?

L'esprit, dans ses conceptions, a tellement besoin d'un appui matériel, que la *construction d'une sphère*, faite à l'imitation de la sphère céleste, doit remonter aux premiers bégayements de la science. Cette construction figurative, véritable hiéroglyphe de l'astronomie, devait devenir de plus en plus nécessaire, à mesure que le nombre des observations, dignes d'être transmises à la postérité, allait en augmentant.

Comment aura-t-on procédé au calque de la sphère céleste? D'une manière fort simple sans doute. Avec des tiges droites, en bois, on aura d'abord figuré les principaux cercles, dont nous avons parlé. Une tige cou-

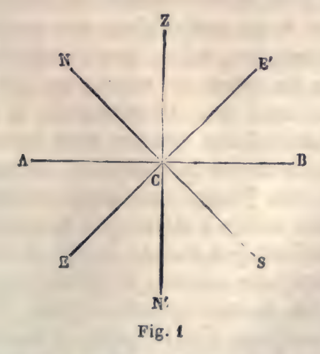


Fig. 1

chée, parallèle à la surface d'une plaine unie ou d'une nappe d'eau tranquille, aura marqué le diamètre (AB de la fig. 1) du cercle horizontal, dont le milieu ou centre C est occupé par l'observateur. Par une tige verticale, perpendiculaire à la première et passant par le milieu de celle-ci, on aura représenté le diamètre ZN' du cercle vertical, diamètre dont les deux extrémités marquent l'un

le zénith, l'autre le nadir. Une tige oblique, posée de manière à en faire coïncider les deux extrémités NS avec le pôle nord et le pôle sud, aura figuré l'axe du monde ou le diamètre du *cercle oblique* de la sphère céleste. Enfin une tige perpendiculaire à l'axe du monde aura servi à indiquer le diamètre, EE′, du cercle équatorial[1].

Il était facile de faire comprendre comment ces différentes lignes, toutes égales entre elles et se coupant à angle droit, pouvaient figurer des diamètres de grands cercles de la sphère céleste. Et comme l'observateur, C, avec la Terre qui le porte, occupe le centre de cette sphère, on aura pu en induire que la Terre n'est relativement qu'un point, mais le point le plus important, le centre du monde ou de la sphère céleste. Cette idée entra, dès le principe, si bien dans l'esprit humain, qu'il a fallu des siècles d'efforts pour l'en faire déloger.

L'inspection de la sphère artificielle, image de la sphere céleste, fit sans doute naître plusieurs propositions géométriques importantes, telles que : toute section de la sphère faite par un plan est un cercle ; les plus grands cercles passent tous par le centre de la sphère ; tous les grands cercles d'une sphère sont égaux entre eux ; tout grand cercle divise la sphère et sa surface en deux parties égales, etc. Toutes ces propositions étaient intuitivement aussi faciles à saisir qu'à démontrer.

Mais il ne suffisait pas d'avoir construit une sphère sur le modèle de la sphère céleste, il fallait trouver le moyen de la mesurer. Or, mesurer, comme peser, c'est appliquer le nombre à la matière. Où prendre ce nombre? Et comment l'appliquer à la sphère? Pour y répondre, il nous faudra prendre la question d'un peu plus haut.

L'homme est obligé, par sa nature, de compter non-seulement avec la matière qui le nourrit et avec l'espace

1. Au moyen d'une tige flexible on aura pu figurer les circonférences des cercles de la sphère céleste. Voilà l'origine des *armilles*.

où il se meut, mais surtout avec le temps, qui marque les étapes de sa vie. Ce dernier besoin caractérise particulièrement notre espèce, car les espèces animales paraissent être complétement étrangères aux préoccupations du temps : la continuité de leur vie se borne à renouveler inconsciemment, par l'instinct de la reproduction, les individus qui meurent. A cette continuité, purement matérielle, où disparaît le libre arbitre, se joint, dans l'espèce humaine, la continuité de la pensée immatérielle, qui ne se perfectionne qu'en parcourant librement le temps, son espace à elle. La *mesure du temps* devait donc être, après la satisfaction des besoins instinctifs que nous partageons avec les animaux, l'une des premières préoccupations de l'esprit humain.

Longtemps avant de savoir que la Terre circule dans l'espace, les hommes avaient pris le Soleil pour l'aiguille principale de la grande horloge du monde. Et en effet, de tous les objets qui tombent sous les sens, celui qui frappe le plus universellement les yeux, c'est le passage de la lumière à l'obscurité, entre deux levers consécutifs du Soleil. Aussi fut-ce là le véritable étalon de la mesure du temps. Cela s'accorde très-bien avec la Génèse, le plus ancien document cosmogonique que nous ayons. « Et Dieu, dit Moïse, appela la lumière *jour* (יום), et l'obscurité *nuit* (לילה) ; et il fut soir, et il fut matin le premier jour[1]. »

Le mot *jour* ne s'appliquait donc, primitivement, qu'à l'intervalle de temps pendant lequel le Soleil reste visible au-dessus de l'horizon. Or le jour ainsi compris est-il égal à la *nuit*, c'est-à-dire à l'intervalle de temps pendant lequel le Soleil demeure invisible au-dessous de l'horizon ? Cette question fut sans doute posée et résolue de bonne heure. Le chasseur, le pâtre, le cultivateur, devaient être

1. Ces paroles : *et il fut soir, et il fut matin le premier jour,* sont la traduction littérale du texte hébreu. Je ne comprends pas qu'elles aient pu embarrasser les interprètes : elles signifient évidemment que *l'intervalle compris entre le matin et le soir se nomme jour.*

les premiers frappés de l'inégalité des jours et des nuits. De plus, ils ne tardèrent probablement pas à remarquer que plus le jour est long, plus la nuit est courte ; enfin que l'un est complémentaire de l'autre, de telle façon que les intervalles compris, soit entre deux levers, soit entre deux couchers consécutifs du Soleil, soient égaux. C'est à ces intervalles, dont chacun comprend le jour et la nuit réunis, qu'on donna plus tard le nom de *jours*.

L'invariabilité du jour, ainsi défini, était un fait important, une véritable découverte. Les curieux, qui avaient du loisir, se mirent sans doute les premiers à l'œuvre pour examiner de plus près cette mesure, ce *mètre*, du temps. Et le raisonnement devait ici s'associer à l'observation. De quoi s'agissait-il en dernière analyse ? De mesurer un mouvement, qui n'est pas de l'homme, par des moyens qui sont d'invention humaine. Or, le mouvement pouvant être aussi varié que la matière, il fallait, avant tout, s'assurer si le *mouvement diurne*, qui donne le *jour*, est *uniforme ou non*. Et pour s'en assurer il y avait un moyen tout trouvé : c'était l'ombre que projettent tous les objets opaques, éclairés par le Soleil. L'ombre se meut avec l'astre du jour ; elle a son *maximum* de grandeur au lever et au coucher de cet astre ; elle est, au contraire, la plus petite lorsque le Soleil est parvenu au milieu de sa course, au point culminant de l'arc qu'il décrit. Or ce milieu du jour, le point *midi*, qui divise en deux parties égales l'arc décrit, divise-t-il de même, en deux parties égales, la durée du Soleil au-dessus de l'horizon ? En d'autres termes, le Soleil, pour monter du lever au point midi met-il exactement le même temps qu'il emploie pour descendre du point midi au coucher ? Là était la question.

Un écoulement d'eau est de tous les phénomènes naturels celui qui réalise le mieux le type du mouvement régulier, uniforme. C'est aussi là qu'il faut chercher l'origine des locutions communes, telles que les jours s'écou-

lent, les années s'écoulent, la vie s'écoule, etc. Et chez les plus anciens poëtes le mot *couler* s'applique à la fois au temps et à l'onde; κυλινδομένων ἐνιαυτῶν, *volventibus annis*, sont des expressions bien connues. C'était donc une chose toute simple que de songer à mesurer le mouvement du Soleil par une quantité d'eau donnée qui s'écoulait d'un vase. L'eau pouvait être cachée dans l'intérieur d'un mécanisme particulier, soit pour l'empêcher de s'évaporer, soit pour dérober aux yeux du public la cause du mouvement. C'est ainsi que fut inventée la première horloge, la *clepsydre*. Son nom même (de κλέπτω, je dérobe, et ὕδωρ, eau) montre avec quel soin on en cachait le ressort ou la force motrice. L'idée de substituer à l'eau le sable ne dut que plus tard se présenter à l'esprit : le sablier est moins ancien que la clepsydre; il servait particulièrement à mesurer la durée des discours que les orateurs prononçaient dans une assemblée.

On a attribué l'invention des clepsydres au fabuleux Hermès Trismégiste des Égyptiens[1]. C'est assez dire qu'elle remonte à l'antiquité la plus reculée, et que son véritable auteur est inconnu. Quoi qu'il en soit, l'une des plus anciennes et des plus belles applications de la clepsydre, dont le mécanisme pouvait être singulièrement varié, témoin la clepsydre de Ctésibius[2], c'était

1. Suivant la tradition mythologique, Hermès avait observé que le cynocéphale, singe que les Égyptiens mettaient au nombre de leurs divinités, urinait douze fois par jour, à des intervalles égaux. Cet observateur serait parti de là pour imaginer une machine produisant le même effet.

2. *Ctésibius*, qui vivait à Alexandrie vers 250 ans avant Jésus-Christ, fut l'inventeur d'une clepsydre particulière, décrite par Vitruve (*De architectura*, IX, 8-9). Sa force locomotrice était déterminée par de l'eau qui, en s'écoulant, allait successivement remplir les augets d'une roue. Cette roue produisait ainsi un mouvement rotatoire, qui se communiquait à un système de roues dentées. Les roues dentées se trouvent déjà décrites par Aristote dans ses *Questions mécaniques*. Notons cet enchaînement significatif : la roue est empruntée au cercle, le

la démonstration du *mouvement uniforme* de la sphère céleste autour de son axe. En effet, une clepsydre, réglée sur l'ombre d'une stèle ou sur un cadran solaire, suffisait pour faire voir que l'ombre, observée depuis le lever du Soleil jusqu'au point midi, met à croître exactement le même espace de temps qu'elle met à décroître depuis le point midi jusqu'au coucher.

Mais ce mouvement conserve-t-il son uniformité lorsque le Soleil est au-dessous de l'horizon? Cette question pouvait paraître oiseuse à la plupart des hommes; mais un observateur, tant soit peu difficile, devait se la poser. Elle était facilement résolue par des observations clepsydriques, faites aux équinoxes, où la durée de la nuit est égale à celle du jour.

L'observateur pouvait encore suivre, avec une clepsydre, le mouvement d'une étoile, par exemple de Sirius. Il n'aura pas ainsi tardé à découvrir que cette brillante étoile met, comme le Soleil, à peu près le même temps pour passer de son lever au plus haut point de son arc que pour descendre de là à son coucher. La position de Sirius relativement aux autres étoiles ne se trouvant pas changée, il était naturel d'en induire que toutes les étoiles, que le Soleil, que la Lune même, que tous les astres, enfin que toute la sphère céleste tourne, par un mouvement général, diurne, uniforme, régulier, autour de son axe de l'orient à l'occident. Ce mouvement était démontré par la même quantité d'eau qui s'écoulait uniformément entre deux retours successifs de l'étoile au méridien. On aura choisi pour point de repère le méridien plutôt que le lever ou le coucher, parce qu'on se sera aperçu de bonne heure que tous les astres, en général, sont plus faciles à observer dans le plan qui passe

cercle l'est à la sphère, et la sphère l'est au ciel. Voilà comment la mécanique des hommes essayait, dès le principe, de se calquer sur la mécanique céleste.

par le zénith, que dans le plan de l'horizon, souvent brumeux ou opaque.

Voilà donc un nouveau et important fait acquis : l'intervalle entier, pendant lequel « il fait une fois jour et il fait une fois nuit », est déterminé par un *mouvement général, diurne, uniforme, de toute la voûte celeste.*

Comment diviser cet intervalle ou le *jour entier?* Par la division même du cercle décrit par un astre.

Rappelons-nous que le système de numération, à la fois le plus simple et le plus expéditif, était d'avance indiqué par les cinq doigts de la main. On aura ainsi reconnu, peut-être avec autant de plaisir que de surprise, que la quantité d'eau (en volumes ou en poids), qui s'écoule entre deux retours successifs d'un astre au même point du ciel, peut être exactement représentée par un multiple de cinq, comme par $5 \times 72 = 360$. Voilà pourquoi la division du cercle (trace du mouvement révolutif d'un astre) en 360 parties, appelées *degrés*, doit remonter à la plus haute antiquité.

Quant à la division du jour ou de la durée du *mouvement diurne*, au lieu de faire correspondre une partie de cette durée à une partie ou un degré du cercle, on aura trouvé plus commode, pour les usages de la vie, de réunir, par exemple, *quinze parties* ou *degrés du cercle* pour les faire correspondre à une partie du jour. Cette division du jour en *vingt-quatre parties égales*, appelées *heures* ($\frac{360}{15} = 24$), est peut-être aussi ancienne que celle du cercle en 360 degrés.

La Lune fixa certainement, tout comme le Soleil, l'attention des premiers curieux de la nature. Après avoir constaté que l'astre de la nuit est entraîné avec toutes les étoiles, par le mouvement diurne, uniforme, de la sphère céleste, ils auront découvert sans doute avec surprise que la Lune se déplace en même temps *pour son propre compte*, comme si elle possédait en elle-même le

principe de son mouvement, à l'instar d'un insecte qui marcherait tranquillement sur une sphère artificielle qu'on ferait tourner autour de son axe. Cette importante découverte se fit probablement sans grande difficulté. Il suffisait, en effet, de mesurer de l'œil l'intervalle compris entre la Lune et une étoile située du côté de l'orient, pour remarquer que cet intervalle diminue de jour en jour, si bien que la Lune finit par atteindre et même dépasser cette étoile.

La découverte du *mouvement propre* ou *particulier* de la Lune, bien distinct du *mouvement général* de la sphère céleste, devait être bientôt suivie, si toutefois elle ne l'avait pas précédée, de la découverte du mouvement propre du Soleil. Comme pour la Lune, cette découverte pouvait se faire par les observations successives d'une étoile, dont l'écart diminuait ou augmentait suivant que cette étoile était située à l'orient ou à l'occident de l'astre du jour.

La remarque que les étoiles s'éteignent à l'approche du Soleil levant ou qu'elles apparaissent à mesure que le Soleil disparaît au-dessous de l'horizon, répondit d'avance à une question qui devait souvent se présenter à l'esprit, à savoir s'il n'y a des étoiles que la nuit, ou s'il y en a aussi le jour. Quelques observateurs, plus sagaces que les autres, n'auront pas manqué de généraliser le fait de la disparition des étoiles devant le Soleil, en établissant qu'une lumière éclatante éclipse des lumières plus faibles, de même qu'un son très-intense empêche d'entendre des sons plus faibles.

Une fois engagé dans cette voie, on devait naturellement se demander si, outre le Soleil et la Lune, il existe d'autres astres, également doués d'un mouvement propre, individuel. Cette question aura été sans doute bientôt suivie d'une réponse affirmative. La belle étoile qui tantôt précède le Soleil levant, et tantôt suit le Soleil couchant, aura été probablement la première rangée au nombre

de ces astres qui, à cause de leurs mouvements propres, ont reçu le nom d'*errants* ou de *planètes* (du grec πλανᾶσθαι, errer). De cette planète, qui porte le nom de la déesse de l'amour et de la beauté, de *Vénus* enfin, on fit, selon toute apparence, d'abord deux étoiles distinctes, sous les noms d'*étoile du matin* et d'*étoile du soir* ou d'*étoile du berger*. On ne sait pas au juste le nom de l'observateur qui découvrit le premier que ces deux étoiles ne sont en réalité qu'un seul et même astre, un astre errant, une véritable *planète*, caractérisée par cette placidité de la lumière dont la Lune offre le type et qui contraste tant avec la lumière vacillante des étoiles proprement dites.

Un autre astre, également bien visible pour tout le monde, quoique d'une lumière un peu moins vive, mais aussi tranquille que celle de l'étoile du berger, *Jupiter* en un mot, aura été probablement presque en même temps rangé dans la classe des astres errants. Puis on aura reconnu successivement, à cause de leurs mouvements propres, le caractère de planètes à *Mars*, à *Saturne* et, en dernier lieu, à *Mercure*.

Ces découvertes ne pouvaient être faites que dans des régions où rarement les nuages troublent la transparence de l'atmosphère. Les plaines de la Chaldée et de la Babylonie, le Delta du Nil, s'y prêtaient mieux qu'aucun autre pays connu de l'antiquité ; ce qu'il y a de certain, c'est que *Mercure*, la planète la plus voisine du Soleil, n'aurait jamais pu être découverte dans nos contrées à horizons brumeux. Plus d'un de nos astronomes les plus célèbres n'est jamais parvenu, sous nos climats, à distinguer *Mercure*.

Rien ne s'oppose à croire que les Chaldéens, les Babyloniens et les Egyptiens se livrèrent dès la plus haute antiquité à la recherche des astres errants, au milieu des harmonies célestes, en apparence troublées par l'apparition inattendue des comètes et des étoiles filantes. Mais en-

fin le nombre des planètes ou astres errants fut définitivement fixé à *sept*, en y comprenant le Soleil et la Lune. Et comme ce nombre se retrouve dans d'autres phénomènes physiques, il fut considéré comme *sacré*. Dès lors il ne vint à l'esprit de personne d'en révoquer la fixité en doute. Voilà comment le prestige d'une théorie, au fond purement imaginaire, a pu encore, dès le principe, entraver le libre essor de la pensée.

Parmi les phénomènes les plus frappants où revient le nombre sept, se trouvent les *phases de la Lune*. Arrêtons-nous-y un moment. Voir la Lune, dans un ordre perpétuellement renouvelé, passer de la forme d'une faucille à celle d'un demi-disque, et de là à celle d'un disque entier; puis la voir repasser inversement par les mêmes phases, en diminuant graduellement jusqu'à sa disparition complète, pour réapparaître encore sous la forme d'une faucille (décroissant de la Lune), mais tournée cette fois en sens opposé à celle du croissant, c'est là de tous les spectacles de la nature sans contredit le plus saisissant. Aussi devait-on de bonne heure s'ingénier pour en trouver l'explication. Si nous joignons, — c'est une expérience qui pouvait venir à l'esprit du premier venu, — si nous joignons les extrémités des cornes par exemple, du décroissant (Lune qui précède de peu le lever du Soleil) par une ligne droite, nous aurons tracé au ciel la figure de l'arme primitive avec laquelle les peuples ont commencé à s'entre-tuer à distance : la droite qui joint les deux cornes sera la *corde* d'un *arc* lumineux, formé par la Lune à son déclin. Nous n'aurons plus qu'à tracer la flèche et son parcours (voy. la fig. 2). A cet effet, faisons partir du milieu de la corde une autre ligne droite de façon que les deux angles qu'elle forme avec la corde, l'un à droite et l'autre à gauche, soient égaux entre eux (angles droits). Cette droite prolongée aboutira juste au centre du Soleil, qui se trouve encore caché au-dessous de l'horizon. En doutez-vous? Attendons que le Soleil se lève; tâchons

seulement de ne pas perdre de vue le même arc de la Lune, car nous aurions bien de la peine à le retrouver dans les

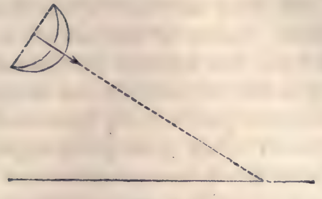


Fig. 2.

flots de lumière que va répandre l'astre radieux. Pour faire la même observation peu de jours après, un soir, avec le croissant, nous n'aurons qu'à marquer le point où le Soleil a commencé à disparaître sous l'horizon. Mais que nous choisissions le matin ou le soir, peu importe ; nous constaterons toujours que le dos ou la convexité de l'arc lunaire est tourné vers le Soleil, et qu'une ligne droite, disposée et dirigée comme une flèche, passera par le centre de l'astre du jour. Qu'en faut-il induire? *Que la Lune reçoit sa lumière du Soleil.*

Si la démonstration de ce fait vous paraissait insuffisante, vous n'auriez qu'à suivre le dernier quartier de la Lune dans sa décroissance graduelle ; vous constateriez que la Lune devient tout à fait invisible lorsqu'elle est complétement plongée dans les rayons du Soleil, lorsqu'elle est, comme on dit, en *conjonction* avec l'astre du jour. C'est le moment de ce qu'on appelle *la nouvelle Lune.* La face de la Lune perpétuellement dérobée aux yeux des mortels est alors seule éclairée par le Soleil, tandis que la face qui regarde perpétuellement la Terre est voilée par l'ombre même de la Lune ; il y fait nuit, et s'il y avait des habitants, ils verraient notre Terre, semblable à un globe de feu, comme nous voyons la Lune, quand toute sa face, tournée vers nous, resplendit des rayons réfléchis du So-

leil, en un mot, les sélénites ont *Pleine Terre*, quand les terrestriens ont *Nouvelle Lune*, et *vice versa*. Si la Lune était exactement placée entre la Terre et le Soleil, sur la même ligne droite, elle nous cacherait le Soleil en projetant sur nous son ombre, comme le font autour de nous tous les objets éclairés par une lumière d'emprunt; de même que la Terre projeterait son ombre sur la Lune, si elle se trouvait exactement placée entre celle-ci et le Soleil.

Ces *ombraisons*, c'est là ce qu'on appelle des *éclipses*. Elles sont si faciles à comprendre avec le simple bon sens, que l'origine de leur interprétation remonte certainement à une époque très-reculée. Nous en dirons autant des phases lunaires. Chacun peut parfaitement s'assurer par lui-même qu'elles ne sont que des *effets de perspective*. Quand la Lune nous montre tout son disque éclairé, nous la voyons de face, c'est-à-dire qu'elle se trouve, par rapport à nous, terrestriens, exactement en *opposition* avec le Soleil; et lorsque nous n'en voyons éclairée que la moitié, au *premier* et au *dernier quartier*, nous la voyons de profil, c'est-à-dire qu'elle occupe juste le quart du cercle qu'elle va décrire autour de la Terre, à partir de sa conjonction avec le Soleil. C'est sans doute l'invariabilité de ses traits qui lui donne une physionomie particulière, et cette physionomie fit découvrir de bonne heure que la Lune nous montre constamment la même face.

Quelle est la durée du mouvement révolutif pendant lequel la Lune se présente à nous, de face, aux *syzygies*[1] (Nouvelle et Pleine Lune), et deux fois de profil, comme aux *quadratures* (premier et dernier quartier)?

Pour répondre à cette question, qui devait en quelque sorte se poser d'elle-même, on fit probablement d'abord bien des tâtonnements en prenant pour point de repère,

1. Ce nom, dérivé de συζύγιος, *réuni au même joug*, fut donné par les premiers astronomes grecs à la conjonction et à l'opposition de la Lune avec le Soleil.

soit une étoile (*révolution sidérale*), soit la *néoménie* (Nouvelle Lune) ou la Pleine Lune (*révolution synodique*)[1]. Puis, après avoir reconnu que l'arithmétique humaine, qui se complaît dans les nombres entiers, est bien différente de l'arithmétique céleste, qui aime à se balancer dans les nombres fractionnaires, on se sera arrêté au nombre entier de *trente jours*, pour exprimer le temps qui s'écoule entre deux Pleines Lunes ou deux néoménies consécutives. Le nom de cette période de temps, très-anciennement connue, rappelle dans toutes les langues le nom de la Lune. C'est ainsi qu'en grec le mot μὴν, d'où le latin *mensis*, signifie à la fois *mois* et *lune*, et qu'en anglais, en allemand, etc., *month*, *monat*, etc., mois, dérivent de *moon*, *mond*, etc., Lune.

Enfin la division même du mois était d'avance indiquée par les phases lunaires, c'est-à-dire par les passages (*âges*) successifs de la Nouvelle Lune au premier quartier, du premier quartier à la Pleine Lune, de la Pleine Lune au dernier quartier, et de là à la Nouvelle Lune. Cela faisait, en somme, quatre divisions égales et naturelles. Mais comment leur attribuer à chacune le même nombre de jours entiers, si le mois devait en contenir trente? Voilà donc un premier embarras. On pouvait hésiter entre *sept* et *huit*. Le nombre *sept*, qui était déjà, comme nous venons de voir, celui des planètes, prévalut. Le quart de trente est sept et demi. Mais on ne voulait, dès le principe, n'avoir affaire qu'à des nombres ronds : les fractions répugnent à l'esprit, comme les dissonances à l'oreille.

Telle est sans doute l'origine de cette division du mois, dont la dénomination reproduit, dans toutes les langues,

1. La durée exacte de la révolution synodique de la Lune est un peu moins de 30, et un peu plus de 29 jours. — On ne pouvait pas encore songer à la *révolution tropique* de la Lune, c'est-à-dire au temps qui s'écoule entre deux retours consécutifs de cet astre au point du cercle de longitude qui passe par l'équinoxe du printemps. Pour cela il faudrait supposer que la science fût alors plus avancée qu'elle ne pouvait l'être.

le nombre sept : *hebdomas*, *septimana*, *settimana*, *semaine*, etc. On admettait donc, dès le principe, un rapport intime entre les jours de la semaine et les planètes. C'est ainsi que chaque jour était consacré à un de ces astres errants. En commençant par le Soleil et la Lune, les deux astres les plus apparents, pour finir par Saturne, astre réputé le dernier du monde, on avait : *Solis dies*, dimanche (*sunday* en anglais, *sontag* en allemand, etc.), *Lunæ dies*, lundi, *Martis dies*, mardi, *Mercurii dies*, mercredi, *Jovis dies*, jeudi, *Veneris dies*, vendredi, *Saturni dies*, samedi (en anglais *Saturday*), noms qui des langues anciennes ont passé dans presque toutes les langues modernes.

Mais il y avait un autre rapport plus important à chercher, c'était celui des jours et des mois avec la durée du mouvement révolutif du Soleil. Pour trouver la durée de ce mouvement, on pouvait prendre pour point de repère une étoile, par exemple Sirius, au moment où cette étoile se couche très-peu de temps après le Soleil. Les jours suivants on l'aura vainement cherchée à la même place. Pour en connaître la cause, on n'aura pas tardé à s'apercevoir que le Soleil s'avance dans l'espace, pour son propre compte, en dehors du mouvement diurne général, de l'occident à l'orient, et qu'il a ainsi envahi la place où se voyait auparavant l'étoile, dont ses rayons ont en même temps complétement effacé l'éclat. Poursuivant la même observation, on aura constaté que le Soleil, dans son mouvement propre, a fini par distancer l'étoile de tout l'espace qui sépare l'occident de l'orient. A ce moment, on aura vu, par suite du mouvement diurne général, le Soleil se lever quand l'étoile se couche, et le Soleil se coucher quand l'étoile se léve. Continuant sa marche propre de l'occident à l'orient, l'astre du jour aura fini par rejoindre l'étoile, qui s'est couchée en même temps que lui. Or, en comptant le nombre de jours qui s'était écoulé entre deux retours consécutifs du

Soleil à la même étoile ou au même point du ciel, on aura trouvé qu'il est à peu près égal à *douze lunaisons* ou mois, chacun de trente jours.

L'évaluation primitive de l'*année sidérale*, c'est-à-dire de la durée de l'intervalle compris entre deux retours consécutifs du Soleil à la même étoile (*sidus*), paraît avoir été, en effet, de *trois cent soixante jours*. Ce nombre représente, ne l'oublions pas, exactement l'antique division du cercle en trois cent soixante degrés. Quant à l'*année lunaire*, composée de *trois cent cinquante quatre jours*, répartis sur douze lunaisons ou mois, dont chacun de vingt-neuf jours et demi, elle est probablement moins ancienne que l'*année rectifiée* de *trois cent soixante-cinq jours*. Voici pourquoi.

Une simple colonne dressée fut, selon toute apparence, le premier de tous les instruments astronomiques ; c'était le *gnomon*. Par l'ombre que le gnomon projette, il sert à marquer les différentes hauteurs du Soleil, non-seulement pendant la durée d'un jour, mais pendant toute la durée d'une année. Les obélisques des Égyptiens n'avaient sans doute pas d'autre usage.

Une fois l'attention éveillée sur ces phénomènes, l'homme, naturellement curieux, ne dut pas s'arrêter à demi-chemin. Le premier fait acquis dans cette voie par l'observation du mouvement de l'ombre pendant que le Soleil est au-dessus de l'horizon, aura été que l'ombre est la plus petite à midi (*minimum* d'ombre), et la plus grande (*maximum* d'ombre) au lever et au coucher. En continuant à observer ce même fait, on n'aura pas tardé à découvrir que les *minima* et les *maxima* d'ombre ne sont pas les mêmes à des jours différents, en un mot, qu'ils varient ; puis on aura découvert que ces deux extrêmes variables, tout en conservant en eux le même rapport, augmentent graduellement jusqu'à un certain point où ils restent pendant quelques jours stationnaires, et qu'ils diminuent de même jusqu'à un certain point, où ils restent également stationnaires pendant quelques jours, pour

augmenter de nouveau, et ainsi de suite, en recommençant toujours le même cycle. Or il suffisait de marquer régulièrement par des lignes tous les *minima* d'ombre, correspondant au Soleil à midi (méridien), pour trouver qu'il s'écoule un nombre déterminé de jours avant le retour de la même ombre à la même ligne. On aura ainsi constaté aisément que ce nombre est de trois cent soixante-cinq jours. Voilà comment l'ombre d'un gnomon ou d'un obélisque, projetée sur un plan divisé par des lignes, aura pu apprendre aux premiers observateurs de combien de jours se compose cet espace de temps qui porte le nom d'*année*. C'était là la véritable *année solaire*, primitive. Elle était connue des Égyptiens depuis les temps pharaoniques.

Voici d'autres faits non moins importants, dont l'acquisition peut remonter à la même époque. L'arc de cercle que le Soleil décrit au-dessus de l'horizon (effet du mouvement général diurne) varie comme l'ombre des objets qu'il éclaire. Cet arc augmente graduellement depuis un jour donné jusqu'à ce qu'il arrive à un *maximum* où il reste pendant quelques jours *stationnaire*; c'est à ce moment qu'un gnomon marque l'ombre la plus petite de l'année. Bientôt le Soleil rétrograde d'une manière sensible; les arcs qu'il décrit diminuent jusqu'à un *minimum* qu'il ne dépasse jamais; c'est là qu'il reste de nouveau quelques jours stationnaire pour recommencer sa course. Ce *minimum* de l'arc correspond au midi du jour où le gnomon indique l'ombre la plus grande de l'année.

Pour bien fixer ces données, on aura appelé *solstices* (de *sol*, et de *stare*) les moments où le Soleil demeure stationnaire deux fois par an. Comme ces deux moments coïncident, l'un avec l'époque la plus chaude, l'autre avec l'époque la plus froide de l'année, le premier aura reçu le nom de *solstice d'été*, le second celui de *solstice d'hiver*. En multipliant les observations gnomoniques, on n'aura pas tardé à s'apercevoir que l'espace de temps employé par le Soleil pour revenir au même solstice ne saurait être ex-

primé par un nombre rond de jours, et qu'à *trois cent soixante-cinq jours* il faut ajouter environ un *quart* de jour.

L'emploi d'un gnomon pour déterminer la durée à peu près exacte du mouvement révolutif propre du Soleil était certainement plus à la portée de tous que le moyen qui faisait évaluer la durée de la révolution synodique de la Lune à vingt-neuf jours et demi. Voilà pourquoi l'année solaire de trois cent soixante-cinq jours devait être, selon moi, plus ancienne que l'année lunaire de trois cent cinquante quatre jours.

Les observations gnomoniques, véritables reflets des mouvements du Soleil, devinrent une source inépuisable d'importantes découvertes. Ainsi, en transportant sur la sphère du mouvement général diurne tous les arcs de cercles décrits par le mouvement propre du Soleil, et dont le plus petit correspond au jour le plus court et le plus grand au jour le plus long de l'année, on aura tracé une large zone ou bande, contenant un certain nombre de constellations.

Le Soleil fut la première divinité des hommes : il était adoré des peuples les plus anciens, comme il l'est encore aujourd'hui des peuples sauvages. Et cela se comprend sans peine, quand on songe que cet astre nous donne à la fois la lumière, la chaleur et la vie. Aussi le *Zodiaque*, — c'est le nom de cette zone céleste dans laquelle le Soleil accomplit, dans l'espace d'une année, sa révolution apparente autour de la Terre, — dut-il de bonne heure fixer l'attention des observateurs.

Procédons encore ici comme devaient le faire les premiers hommes curieux de s'instruire par la lecture du seul livre qui soit à la disposition de tous, le livre de la nature, comprenant le ciel et la Terre. Dans la zone tracée d'après les observations du gnomon, il y eut à distinguer les cercles qui appartiennent au mouvement général diurne, du cercle que décrit le mouvement annuel propre du Soleil. Les cercles diurnes sont tous parallèles à l'équateur et

ont pour pôles les extrémités de l'axe du monde. Quant au cercle tracé par le mouvement propre, annuel, du Soleil, il forme l'équateur d'une sphère particulière, ayant ses propres pôles. Celle-ci a reçu le nom de *Sphère oblique*, pour la distinguer de la sphère du mouvement général diurne, qui s'appelle la *Sphère droite.* Ces deux sphères ont leurs axes inclinés l'un sur l'autre et se coupent par leurs équateurs, sous un angle déterminé.

L'équateur de la Sphère oblique a une importance particulière. Là, en effet, s'opère non-seulement le mouvement propre annuel du Soleil, mais la Lune et toutes les planètes se meuvent dans des orbes très-rapprochés de ce plan. Enfin, c'est là que s'observent toutes les éclipses. Aussi l'équateur de la sphère oblique a-t-il bien mérité le nom d'*Écliptique.*

Si les mouvements propres du Soleil, de la Lune et des planètes n'étaient pas indissolublement liés avec le mouvement général de la sphère céleste, et que, par hypothèse, celui-ci fût arrêté, tandis que les premiers seuls fonctionneraient, nous verrions, par exemple, le Soleil partant du point extrême méridional de son cercle oblique (écliptique) s'avancer lentement vers l'équateur du monde, qui coïncide avec l'équateur terrestre, franchir cet équateur en un point, passer de là dans l'hémisphère boréal, puis, après avoir atteint le point extrême septentrional, nous le verrions revenir de là vers l'équateur, le franchir en un point diamétralement opposé au premier, et redescendre dans l'hémisphère austral, pour recommencer le même mouvement. Dans ce mouvement révolutif, la Terre étant supposée immobile au centre du monde, on verrait l'un de ses hémisphères éclairé durant six mois, pendant que l'autre resterait dans l'ombre, les saisons n'existeraient point, et Dieu sait ce que deviendrait la vie ! Mais rien de cela n'a lieu. Par suite de l'indissoluble connexité des deux sphères, — les apparences continuant à être prises pour des réalités, — à chaque point que le Soleil

traverse, dans son mouvement diurne, pour aller obliquement (mouvement annuel) du midi au nord ou du nord au midi, correspond un cercle perpendiculaire à l'axe du monde ; et si l'on marque par trois cent soixante-cinq points équidistants le cercle oblique annuel du Soleil (écliptique), on aura trois cent soixante-cinq cercles diurnes, parallèles, coupant obliquement l'écliptique. Le cercle qui coïncide avec l'équateur indique le moment où le jour est égal à la nuit : c'est celui de *l'équinoxe ;* c'est là ce que les Grecs nommaient l'*isemérine* (ἰσημερινὸς) ou l'*équidiurne.* Parmi les autres cercles diurnes, tous parallèles à l'équateur, il n'y a de remarquable que ceux des solstices, qui limitent le bord méridional et le bord septentrional du zodiaque.

Les mêmes observations ont dû, toutes choses égales d'ailleurs, être faites dès le principe pour la Lune et les planètes. Les points d'intersection de l'orbite[1] de la Lune avec l'équateur du monde auront de bonne heure reçu le nom de *nœuds.* Quand la Lune va du midi au nord, le point d'intersection se nomme *nœud ascendant ;* il s'appelle *nœud descendant*, quand elle va du nord au midi.

L'inclinaison de l'orbite lunaire sur l'écliptique n'a pas dû échapper davantage aux premiers contemplateurs sérieux du ciel. Nous en dirons autant des stations et des rétrogradations de Jupiter et de Saturne, dont l'explication devait pendant si longtemps exercer les esprits.

Le premier cultivateur tant soit peu curieux n'hésita certainement pas à rapporter la marche de la végétation à celle de l'astre vivifiant. La séve, en effet, commence à se mettre en mouvement quand le Soleil nous revient en décrivant des arcs de cercle de plus en plus grands, et qu'il franchit l'équateur (*équinoxe du printemps*) ; les fruits se montrent aux environs du solstice, auquel correspond le

1. Le mot *orbite*, du latin *orbis*, est très-anciennement employé pour désigner le cercle (ellipse) décrit par les astres.

jour le plus long ou le plus grand arc du cercle diurne (*solstice d'été; minimum* de l'ombre du gnomon); la récolte se fait lorsque le Soleil repasse l'équateur (*équinoxe d'automne*), et s'éloigne de nous en décrivant des arcs de cercle de plus en plus petits ; enfin, la végétation se repose aux environs du *solstice d'hiver*, qui correspond à l'arc du cercle le plus petit et au *maximum* d'ombre du gnomon. En somme, la germination, la maturation des fruits, la récolte et le repos, sont en quelque sorte les quatre points cardinaux de la vie. C'est de là qu'est venue, du moins pour nos climats tempérés de l'hémisphère boréal, siége primitif de notre civilisation, la division naturelle de l'année en *quatre saisons*. Tout y est réglé sur le cours apparent du Soleil.

L'homme primitif, ayant l'intelligence ouverte à toutes les merveilles de la nature, aura pris plaisir à transporter au ciel des animaux ou d'autres objets de son entourage, sans excepter ses compagnons, chasseurs, pêcheurs, pasteurs ou cultivateurs. C'est là qu'il faut, selon moi, chercher l'origine des noms que portent les constellations ; et on comprend pourquoi ces noms, sauf un petit nombre, tels que ceux d'*Ourse*, *Balance*, *Flèche*, etc., ne rappellent que très-imparfaitement les objets qu'ils sont censés exprimer.

La distribution des étoiles par groupes figuratifs fut la première écriture, véritablement hiéroglyphique : elle était gravée au firmament en caractères ineffaçables ! Les constellations du zodiaque devaient, avant tout, occuper l'imagination de l'inventeur inconnu de cette céleste écriture. Rien de plus simple que de n'en établir que douze, ne fût-ce que pour rappeler le nombre des révolutions que la Lune accomplit pendant que le Soleil achève la sienne dans le même espace de temps et dans la même zone du ciel (zodiaque).

Le *Belier*, qui s'avance en tête de son troupeau et en règle pour ainsi dire la marche, ouvre aussi la série des constellations zodiacales. Cette constellation n'a, par elle-

même, rien de remarquable : la plus brillante de ses étoiles indique la base de l'une des cornes du conducteur de brebis ; elle n'est que de seconde grandeur. Mais le choix de son nom ne manquait pas d'à-propos. Après le *Bélier* vient le *Taureau.* Admirez, par une belle nuit d'hiver, dans le voisinage d'Orion, que vous connaissez déjà, cette belle étoile rouge, scintillante ? Vous diriez l'œil étincelant d'un taureau en fureur. C'est, en effet, l'*œil* du Taureau, c'est Aldébaran, étoile de première grandeur et l'une des plus belles de notre ciel. Les autres constellations du zodiaque se nomment : les *Gémeaux*, dont les têtes sont marquées par deux étoiles très-visibles (de première à deuxième grandeur), situées un peu au-dessus d'une étoile de première grandeur (Procyon ou le Petit Chien) ; — le *Cancer* ou Écrevisse, constellation fort peu apparente : ses étoiles les plus visibles ne sont que de quatrième grandeur, et occupent le corps de l'animal ; — le *Lion*, belle constellation, marquée par une étoile de première grandeur, nommée *Regulus*, accompagnée d'autres, disposées en trapèze, de deuxième à troisième grandeur ; — la *Vierge*, indiquée par une étoile très-brillante, de première grandeur, nommée l'*Epi* et située dans le voisinage d'une étoile, également de première grandeur, *Arcturus*, qui se trouve sur le prolongement de la queue de la Grande Ourse ; — la *Balance*, indiquée par deux étoiles de deuxième grandeur, qui ressembleraient exactement aux Gémeaux, si elles étaient plus rapprochées l'une de l'autre ; — le *Scorpion*, constellation splendide : une étoile de première grandeur, d'un bel éclat rouge, marque le *Cœur* du Scorpion (*Antarès*), au milieu de deux étoiles de troisième grandeur, surmontée de trois étoiles brillantes, disposées en diadème ; — le *Sagittaire*, dont la flèche, indiquée par trois étoiles (de deuxième à troisième grandeur), est dirigée vers la queue du Scorpion ; — le *Capricorne*, constellation peu apparente, qui se reconnaît à deux étoiles de troisième grandeur, très-rap-

prochées l'une de l'autre, et désignant la base des cornes de l'animal hiéroglyphique ; – le *Verseau*, indiqué par trois étoiles de troisième grandeur, disposées en triangle et dont la plus septentrionale occupe un point de l'équateur ; — les *Poissons*, composés d'étoiles à peine apparentes (de troisième à quatrième grandeur), situées au midi d'un grand et magnifique quadrilatère, dont les angles sont formés par trois étoiles de deuxième grandeur (de la constellation de Pégase) et par une étoile de première grandeur (de la constellation d'Andromède).

Nous venons d'énumérer les constellations zodiacales, dans l'ordre du mouvement propre ou direct (de l'ouest à l'est) du Soleil, de la Lune et des planètes, qui les traversent. Voici leur situation australe (au delà de l'équateur) et boréale (en deçà de l'équateur), par rapport à l'hémisphère que nous habitons. Les constellations situées tout entières au delà de l'équateur céleste sont : le Capricorne, le Sagittaire, le Scorpion, la Balance, qui touche à l'équateur ; ce sont là les constellations *australes* du zodiaque. Les constellations, situées tout entières en deçà de l'équateur, sont : le Cancer, les Gémeaux, le Taureau et le Bélier ; ce sont là les constellations *boreales* du zodiaque. Le Verseau et le Lion touchent à l'équateur, mais sans que le premier cesse d'appartenir à l'hémisphère austral, et le second à l'hémisphère boréal. Les Poissons et la Vierge sont, en deux lieux opposés, coupés par le plan équinoxial (équatorial).

Ces différentes constellations sont loin d'occuper chacune la même étendue et d'être séparées par le même intervalle. Mais comme il s'agissait de les faire correspondre aux douze mois de l'année, il fallait les diviser en douze compartiments égaux, « maisons successives (*mansiones*) du Soleil dans sa révolution annuelle. » Elles perdirent dès lors leur véritable valeur : au lieu d'être des constellations, ce n'étaient plus que des drapeaux ou des *signes* (σημεῖα), chacun de 30 degrés ; leur total, 12×30, reproduisait les 360 degrés du cercle. Un mot à ce sujet.

Pour mieux fixer les idées, sortons un instant des limites d'un observateur primitif, et reportons-nous, ce que l'histoire permet, à deux mille ans en arrière, à l'époque où vivait Hipparque, un grand astronome. A cette époque, l'équinoxe du printemps arrivait quand le Soleil entrait dans la constellation du Bélier, alors située dans le plan équatorial. C'était la première division, ou la « première chambre de la maison du Soleil », arborant le drapeau ou le signe (σημεῖον) du Bélier. Or l'observation, d'accord avec l'histoire, nous apprend qu'aujourd'hui, après un intervalle de deux mille ans, la constellation du Bélier est devenue tout entière boréale, et que ce n'est plus elle, mais la constellation qui la *précède* (en allant de l'ouest à l'est), qui est coupée par l'équateur que le Soleil franchit au printemps. Le printemps commence donc aujourd'hui quand le Soleil entre dans la constellation des Poissons. La même *précession* a atteint toutes les autres saisons, ainsi que tous les mois et fractions de mois. Ce n'est plus, en effet, la Balance, mais la Vierge, que coupe l'équateur à l'opposite de l'équinoxe du printemps ou à l'équinoxe d'automne; ce ne sont plus le Cancer et le Capricorne, mais les Gémeaux et le Sagittaire, qui occupent, du nord au midi, les points extrêmes du zodiaque. Qu'induire de là? Qu'outre le mouvement diurne général et le mouvement propre de chaque astre errant, il y a un troisième mouvement, qui s'applique, comme le premier, à toute la sphère céleste. C'est ce troisième mouvement qui a reçu le nom de *précession des équinoxes*. Nous y reviendrons.

En attendant, notons que c'est par respect pour la tradition, indigne de la science, que les almanachs continuent à répéter qu'aux équinoxes de printemps et de l'automne le Soleil entre dans les *signes* du Bélier et de la Balance, quand en réalité il va occuper les *constellations* des Poissons et de la Vierge, et qu'aux solstices d'été et d'hiver il entre dans les signes du Cancer et du

Capricorne, tandis qu'il va occuper en réalité les constellations des Gémeaux et du Sagittaire.

Pour justifier le choix des noms donnés à ces constellations du zodiaque, on a eu recours à bien des hypothèses. Ainsi les noms de *Cancer* et de *Capricorne* s'expliqueraient par la raison que le Soleil, parvenu à la limite boréale de sa course annuelle (solstice d'été), commence à *rétrograder*, de même que, parvenu à sa limite australe, il commence à nous revenir ; c'est ainsi que les bouquetins ou les capricornes quittent en hiver leurs retraites neigeuses pour descendre dans les plaines. Le nom de *Balance* conviendrait assez bien aux points d'une ligne qui partage un tout en deux parties égales. Quant au nom de *Bélier*, il rappellerait l'animal qui marche en tête de son troupeau. Enfin les symboles mêmes de ♈ ♉ ♊, ♋ ♎ ♒ ♓ ... par lesquels on désigne aujourd'hui le Bélier, le Taureau, les Gémeaux, le Cancer, la Balance, le Verseau, les Poissons..., sont les noms irrécusables de ce langage hiéroglyphique qui touche aux temps primitifs.

Mais des difficultés, en apparence inextricables, ont peu à peu surgi. Par exemple, si c'est le Bélier qui doit, en sa qualité d'animal conducteur, ouvrir la marche des constellations zodiacales à partir de l'équinoxe du printemps, il faudra admettre que l'invention du zodiaque ne remonte pas au delà de 2500 à 3000 ; car du temps d'Hipparque l'équinoxe du printemps coïncidait encore avec la constellation du Bélier. Ce fait renverse tout ce qu'on a dit de la haute antiquité des monuments de Denderah, d'Esné, etc., sur lesquels figurent les constellations du zodiaque précisément dans le même ordre qui vient d'être indiqué ; à moins d'admettre, ce qui n'est guère vraisemblable, qu'il s'était écoulé depuis le premier tracé du zodiaque jusqu'à la construction de ces monuments une période de vingt-cinq mille ans, période nécessaire pour que les mêmes constellations reviennent à leur

point de départ, après avoir fait tout le tour de la sphère céleste. Mais n'empiétons pas sur ce que nous aurons à dire plus bas.

En somme, le mouvement dont le ciel est le théâtre fut toujours la grande préoccupation de l'intelligence humaine, armée du sens visuel, perfectible. Laissant de côté la question de force ou de cause, pour ne s'attacher qu'à l'effet, les observateurs les mieux inspirés auront les premiers senti la nécessité de distinguer, dans tout mouvement, la direction et la vitesse. Cela étant, ils n'auront pas tardé à noter, comme résultats de leurs explorations célestes, les données suivantes : Le mouvement le plus rapide va *de l'orient à l'occident;* c'est le mouvement général, appelé *diurne*, parce qu'il fait tourner en un jour de vingt-quatre heures toute la sphère céleste autour de son axe. Les mouvements propres de la Lune et du Soleil sont beaucoup plus lents, et ils vont tous en sens inverse du premier, à savoir *de l'occident à l'orient*. Enfin il y a des planètes qui, comme Jupiter et Saturne, vont, durant leurs longs mouvements révolutifs, tantôt de l'orient à l'occident, tantôt de l'occident à l'orient, après être restées un moment stationnaires, entre leurs mouvements et leurs rétrogradations alternatifs. Que le mouvement de l'occident à l'orient ait plus tard reçu le nom de *mouvement direct*, et que le mouvement de l'orient à l'occident s'appelle *mouvement rétrograde*, cela importe peu; l'essentiel, c'est qu'on ait su de temps immémorial en faire la distinction.

Le mouvement général diurne est, comme on l'a vu, uniforme. Le mouvement propre l'est-il aussi? A cette question si naturelle, l'observation (faite à l'aide d'un gnomon) répondit que l'équateur du monde ne divise pas *la durée de la révolution annuelle du Soleil en deux parties parfaitement égales*, que le Soleil met, pour aller de l'équinoxe d'automne à l'équinoxe du printemps, *huit*

jours de plus que pour aller de l'équinoxe du printemps à l'équinoxe d'automne, qu'il séjourne par conséquent plus longtemps dans l'hémisphère boréal que dans l'hémisphère austral.

Voilà certes un fait fort inattendu : il devait causer aux premiers observateurs autant de surprise que d'embarras. Comment expliquer le mouvement, tour à tour accéléré et retardé, du Soleil pendant sa révolution annuelle? Voilà ce qui devait singulièrement intriguer les premiers observateurs, dont les noms ne nous ont pas été conservés. De deux choses l'une, ou ce mouvement n'est qu'apparent, ou il est réel. S'il n'est qu'apparent, rien ne sera plus facile à expliquer. D'après une expérience commune à tous les hommes, et que chacun peut répéter tout à son aise, nous ne voyons pas seulement les mêmes objets plus petits à une distance plus grande, mais les mouvements mêmes paraissent diminuer de vitesse avec leur éloignement. Si le Soleil marche plus vite l'hiver que l'été, — l'été est le milieu du passage de l'automne au printemps, — c'est que nous en sommes plus près quand il est dans l'hémisphère austral que quand il est dans l'hémisphère boréal, et *vice versa;* si le Soleil marche (toujours par son mouvement propre) plus lentement l'été que l'hiver, c'est que nous en sommes plus éloignés quand il séjourne en deçà de l'équateur que quand il réside au delà. Voilà comment l'apparence, ou, ce qui revient au même, la *manière de fonctionner de notre appareil visuel*, a pu sauver l'*uniformité* du mouvement propre du Soleil, comme à la fois plus digne de la perfection du cercle et plus rapprochée du mouvement général diurne de la sphère céleste.

Mais d'abord, d'après cette explication, la Terre ne pouvait pas toujours occuper exactement le centre du monde. Puis, est-ce que tout pouvait s'expliquer par une simple apparence optique? Ce furent là les *deux points germina-*

tifs de l'astronomie. D'hypothèse en hypothèse, on devait, après une longue série de siècles, aboutir à une révolution complète dans la manière de concevoir la constitution des cieux.

C'est de cette époque que datera le véritable progrès de la science.

LIVRE DEUXIÈME.

ASTRONOMIE ANCIENNE

S'il est vrai, comme tous les documents tendent à le prouver, que le mouvement de la science, inséparablement lié à celui de la civilisation, suit la marche apparente du Soleil, nous devrons commencer notre revue historique par les nations de l'extrême orient de notre Ancien Monde, et passer de là successivement à l'Europe occidentale. C'est aussi ce que nous allons essayer de faire brièvement.

CHAPITRE I.

CHINOIS.

L'élément fabuleux se trouve ici si intimement mêlé à l'élément historique, qu'il est très-difficile de distinguer l'un de l'autre. Si l'on y parvient, c'est par la force

de la logique plutôt que par les documents écrits, d'une authenticité presque toujours discutable.

Les Annales de l'Empire du Milieu nous présentent Fou-hi comme l'inventeur d'une quantité de choses merveilleuses. Ce législateur donna, dit-on, le premier à ses peuples une règle pour compter le temps à l'aide des nombres 10 et 12, fondement de la division du temps en heures, jours, mois et années. « Il aurait voulu, disent les annalistes chinois, instruire parfaitement ses peuples; mais ils étaient trop grossiers et trop bornés pour comprendre ses théories[1]. »

Fou-hi vivait au vingt-neuvième siècle (vers 2850) avant notre ère. On conçoit sans peine qu'à une époque aussi reculée les peuples devaient être encore bien incultes. Mais on ne dit pas où Fou-hi avait lui-même appris la science qu'il leur voulait enseigner. Il ne pouvait l'avoir tirée que de l'observation unie au raisonnement.

Cependant, deux siècles et demi plus tard, il s'était déjà formé des astronomes assez habiles pour corriger le calendrier et pour occuper dignement l'observatoire construit, en 2608 avant l'ère chrétienne, par Hoang-Ti. Une série d'observations ayant pour objet les mouvements du Soleil et de la Lune fit, raconte-t-on, reconnaître que douze mois lunaires n'équivalent pas à une année solaire, et que, pour rectifier l'année lunaire et la faire concorder avec l'année solaire, il fallait intercaler sept lunes dans l'espace de dix-neuf années solaires. D'après ce récit, les Chinois auraient fait ce que firent les Grecs au moins deux mille ans plus tard.

Sous les successeurs de Hoangh-Ti, on négligea l'astronomie jusqu'à Yao, qui en ranima l'étude. En 2357 avant l'ère chrétienne, cet empereur ordonna à ses astronomes d'être attentifs à la régularité comme à l'irrégula-

1. *Histoire générale ou annales de la Chine,* trad. de Tong-Kien-Kang-mou, par le P. Moyriac de Mailla (Paris, 1777-1785, 13 vol. in-8°).

rité du Soleil et de la Lune, et de déterminer exactement la durée de chacune des quatre saisons. Mais cet ordre fut sans doute très-mal exécuté, puisque pendant bien longtemps encore les Chinois croyaient que les équinoxes et les solstices partagent l'année en quatre parties parfaitement égales. Yao avait envoyé quatre astronomes aux quatre points cardinaux : Hi-Tchong à l'est, pour voir quelle est l'étoile qui occupe le point de l'équinoxe du printemps ; Hi-Chouan au sud, pour observer l'étoile qui devait se trouver au solstice d'été ; Ho-Tchong à l'ouest, pour savoir quelle est l'étoile qui marquerait l'équinoxe d'automne, et Ho-Chou au nord, pour observer l'étoile qui indiquerait le solstice d'hiver. Ces astronomes trouvèrent, en effet, une étoile à chacun des points cardinaux. Mais il n'était pas nécessaire, remarque ici judicieusement Delambre, « de se disperser pour ces quatre observations, qu'un même homme pouvait faire dans un même observatoire. Si le tout n'est pas un conte, on peut encore s'étonner du hasard singulier qui donne aux quatre astronomes quatre noms aussi symétriques [1]. »

Deux siècles plus tard, les astronomes Hi et Ho, en même temps gouverneurs de provinces, remplissaient mal leur charge de mathématiciens de l'Empire : ils avaient négligé de donner avis à l'empereur Tchong-Kong d'une éclipse de Soleil qui arriva en automne 2159 avant l'ère chrétienne. Plongés dans la débauche, ils ne songeaient qu'à leurs plaisirs. Justement irrité de leur conduite, l'empereur ordonna à son général d'aller les punir à la tête de ses troupes. Le général leur tint le discours suivant : « Le premier jour de la Lune d'automne, sur les huit heures du matin, il est arrivé une éclipse de Soleil hors de la constellation de Fang (Scorpion) ; les aveugles ont battu du tambour ; les petits mandarins et les peuples, faute d'avoir été avertis, ont été épouvantés. Hi et Ho, comme

1. Delambre, *Histoire de l'astronomie ancienne* (Chinois), p. 350-351

des termes insensibles, ont feint de n'en rien savoir. Ignorants dans la connaissance des mouvements célestes, ils doivent subir le châtiment porté par les lois de nos premiers empereurs. Ces lois disent : Soit que le temps de quelque événement ne soit pas bien marqué, soit qu'on ne l'ait pas bien prévu, l'une et l'autre négligence doivent être punies de mort sans rémission. » C'est ce qui fut exécuté.

Cette loi était, il faut l'avouer, bien sévère pour de pauvres astronomes, qui probablement n'avaient aucune idée ni de la parallaxe, ni des inégalités du Soleil ou de la Lune. Comment s'était-il trouvé cependant des hommes assez téméraires pour remplir l'office de mathématiciens de l'empereur de Chine?

De 2159 à 776 avant J. C., il n'est plus question ni d'astronomie, ni d'éclipse. Le sort de Hi et de Ho avait-il éloigné les Chinois d'une science si périlleuse?

En 221 avant J.-C., l'empereur Tsin-Chi-Hoang fit brûler tous les livres d'histoire et de science. C'est ainsi que disparurent complétement, dit-on, les anciennes méthodes d'observation et les anciens catalogues d'étoiles. Que le fait soit vrai ou non, peu importe. Dès qu'il ne reste absolument rien d'une chose, c'est comme si elle n'eût jamais existé; et c'est là le point.

En 104 avant J. C., Sse-Ma-Tsiou donna des préceptes pour calculer le mouvement des planètes, les éclipses et les syzygies. On ne nous a pas fait connaître ces règles. Nous avons celles d'Hipparque, qui sont plus anciennes.

En 164 après J. C., des étrangers, sujets de l'empire romain, disent les Annales, arrivèrent en Chine. L'astronome Tchang-Hong construisit des armilles, un globe céleste et une sphère. Son catalogue contenait deux mille cinq cents étoiles, mais sans indication d'aucune des coordonnées de l'espace. Une chute d'eau donnait le mouvement du mécanisme. Il y avait aussi un tube pour viser les astres; mais il était sans verre.

A mesure que nous approchons des temps modernes, l'astronomie chinoise semble rétrograder : les habitants du Céleste Empire montrent un goût de plus en plus marqué pour l'astrologie. Admettant une étroite corrélation entre les actions des princes et les phénomènes du ciel, ils croyaient que les premiers pouvaient, par leurs bonnes ou mauvaises actions, changer les mouvements des astres. Cette croyance absurde s'appliquait surtout aux éclipses, qu'on ne savait pas calculer. On disait « qu'au commencement il n'y avait ni éclipses, ni rétrogradations ; que ce sont les mauvaises actions des princes qui ont mis les astronomes dans la fâcheuse nécessité de calculer ces phénomènes ; » et les astronomes des dynasties plus récentes affirmèrent unanimement « que ce ne fut qu'au temps de Lieou-Hong (vers l'an 200 de notre ère) que l'on commença à avoir des principes fixes pour le calcul des éclipses ». Quand une éclipse annoncée ne se réalisait pas, on félicitait le prince de ce que ses vertus l'avaient préservé d'un grand malheur. C'était là sans doute le cas le plus fréquent : l'ignorance se couvrait du manteau de la flatterie. Les conjonctions des planètes passaient pour un bon augure ; on en imaginait pour faire la cour au prince, et on les insérait dans les Annales de l'empire. Une éclipse de Soleil au premier jour de la première Lune était regardée comme un mauvais présage ; mais, au moyen d'une intercalation, l'éclipse arrivait à la dernière Lune de l'année. C'était, — ce qui arrive souvent, — se tirer d'embarras aux dépens de la vérité.

Ce tableau, tracé par le P. Gaubil[1], n'est guère propre à nous inspirer beaucoup de confiance dans l'astronomie chinoise.

1. Le P. Gaubil, missionnaire en Chine, a rédigé le IIe volume de l'ouvrage publié par le P. Souciel, sous le titre d'*Observations mathématiques, astronomiques, géographiques chronologiques et physiques,* tirées des anciens livres chinois, ou faites nouvellement aux Indes par les Pères de la compagnie de Jésus; 1729, 2 vol. in-4°.

En 1629, les jésuites missionnaires, Longobardi et Térence, furent adjoints au Tribunal des mathématiques à Pékin. Les opposants chinois demandèrent l'abolition de l'astronomie européenne et le rétablissement de l'astronomie ancienne, qui était celle de la nation. Les tribunaux consultés votèrent dans ce sens. L'empereur fit alors assembler les astronomes des deux écoles ennemies, et, s'adressant d'abord aux nationaux, il leur demanda quelque épreuve facile qui pût trancher la question. Les Chinois ne surent que répondre. Le P. Verbiest, président du Tribunal des mathématiques, proposa alors de calculer quelle devait être l'ombre méridienne du lendemain pour divers gnomons. L'épreuve fut ordonnée et tourna à la confusion des astronomes chinois : aucun ne sut calculer ces ombres.

Comment des éclipses pouvaient-elles être calculées par des astronomes qui ne savaient pas même trouver la déclinaison du Soleil pour en déduire la longueur de l'ombre, c'est-à-dire un triangle rectiligne ? Comment concilier cet état d'ignorance avec un Tribunal de mathématiques qui avait pour principale fonction de calculer exactement toutes les éclipses et de les annoncer à la nation avec un cérémonial particulier[1] ? Comment, avec l'ordre formel de transmettre le dépôt de la science intact aux générations futures, les astronomes chinois en étaient-ils arrivés, deux mille ans après l'institution de ce tribunal, à ne pas même savoir calculer l'ombre d'un gnomon ? Supposé même que tous les livres astronomi-

1. Au moment où l'on s'apercevait que le Soleil ou la Lune commençaient à s'obscurcir, tous les mandarins se jetaient à genoux et frappaient la terre de leur front. Aussitôt on entendait s'élever de toute la ville (Pékin) un bruit épouvantable de tambours et de timbales, reste de l'ancienne croyance que par ce tintamarre on secourait l'astre souffrant et qu'on l'empêchait d'être dévoré par le dragon céleste. Quoique les lettrés sachent aujourd'hui que les éclipses sont des événements naturels, ils n'en continuent pas moins à observer leur antique cérémonial. (*Histoire de la Chine*, t. XIII, p. 733.)

ques eussent été brûlés par ordre de Tsin-Chi-Hong-Ti, est-ce que ce sot et orgueilleux souverain aurait pu en même temps effacer de la tête des astronomes les méthodes d'observation et de calcul? On cite bien un vieux docteur qui, longtemps après la mort de Tsin-Chi-Hong-Ti, avait conservé dans sa mémoire vingt-neuf chapitres du Chou-King, et il ne se serait pas rencontré un seul astronome, pas un seul membre du Tribunal des mathématiques, capable de se souvenir comment se calculaient les éclipses? — Non. L'auto-da-fé impérial des livres astronomiques n'explique rien.

Si, à l'arrivée des jésuites en Chine, les astronomes de ce pays étaient moins instruits que les derniers de nos écoliers, pouvaient-ils l'être davantage 3700 ans auparavant, sous le règne de Tchon-Kong? On peut ne pas s'avancer ou rester stationnaire dans une science ; mais rétrograder, quand une fois l'impulsion pour marcher en avant a été donnée, c'est impossible[1].

1. Parmi les savants qui se sont spécialement occupés de l'histoire de l'astronomie chinoise, nous devons citer au premier rang *Eugène-Édouard Biot*, fils du célèbre physicien de ce nom. Ses travaux ont paru dans le *Journal Asiatique.*

CHAPITRE II.

HINDOUS.

On a supposé aux Hindous (Indiens) des connaissances tellement avancées à une époque où l'Europe était encore plongée dans les ténèbres de la barbarie, que l'exagération de l'hypothèse saute aux yeux. Bailly a écrit un gros volume pour montrer, entre autres, que les Indiens possédaient, il y a quelques milliers d'années, des tables astronomiques plus exactes que les tables de Tycho, qui servaient à Kepler. « Les Indiens existent, dit-il, en corps de peuple depuis un grand nombre de siècles; ils en ont conservé les traditions, et ce peuple peut être regardé comme le possesseur des plus précieux restes de l'antiquité. Ces restes sont d'ailleurs aussi purs qu'ils sont antiques; car, dans son indolence, il est encore aujourd'hui ce qu'ont été ses premiers auteurs, qui ont tout institué.»

La science serait ainsi sortie, en quelque sorte armée de toute pièce, de la tête d'un peuple, unique par son indolence et par son horreur de toute innovation ou de tout progrès. Allons ! cela n'est pas sérieux. Aussi Delambre n'eut-il pas beaucoup de peine à réfuter une à une toutes les affirmations gratuites de Bailly[1].

1. Delambre, *Astronomie des Indiens,* p. 400-517 (dans le volume qui contient l'*Histoire de l'astronomie ancienne*).

Personne ne conteste l'antiquité des Hindous; mais leurs prétentions à une science révélée n'ont rien de fondé. « Le Soleil, disent-ils d'après leurs livres sacrés, fait la division du jour et de la nuit, qui sont de deux espèces, ceux des hommes et ceux des dieux. Un mois est un jour et une nuit des patriarches; un an est un jour et une nuit des dieux; quatre mille ans des dieux s'appellent l'âge *krita* ou *satya*... L'âge des dieux ou douze mille de leurs années, multipliées par 71, forment un *manorantara*. Il y a alternativement des créations et des destructions de mondes dans une suite indéfinie de *manorantaras*. »

Cette série indéfinie de créations et de destructions alternatives de mondes est peut-être ce qu'il y a de plus remarquable dans la philosophie indienne. Mais elle n'est au fond, il faut le reconnaître, qu'une hypothèse.

Les gymnosophistes ou brahmines n'observaient pas le ciel comme le faisaient les Chaldéens. Parmi les ruines d'aucune des villes de l'Indostan on ne trouve, comme dans les ruines de Babylone, des vestiges d'observatoires. Aussi la science des Hindous était-elle toute d'inspiration ou plutôt d'imagination. Ainsi les éclipses sont, disent-ils, occasionnées par l'intervention des monstres *Rehou* et *Cetou;* toutes les planètes se meuvent dans leurs orbites avec la même vitesse... La Terre est sphérique; entourée des planètes, elle est immobile au milieu de l'espace, par sa propre puissance et sans aucun support. Si le monde avait besoin d'un support, celui-ci en exigerait à son tour un autre, et ainsi de suite. Il faudrait toujours supposer une chose qui se soutînt d'elle-même; et pourquoi cette chose ne serait-elle pas la Terre, qui est une des huit forces visibles de la Divinité ?... La Terre a un pouvoir attractif qui dirige vers elle tout corps pesant et qui fait que ce corps paraît tomber. Mais où pourrait tomber la Terre, qui n'est environnée que de l'espace ? — Les bouddhistes supposent que la Terre tombe continuellement, sans que nous puissions nous en apercevoir.

Le Vichnou d'Hermotter passe pour avoir observé les planètes avec un instrument propre à déterminer le plus ou moins d'accord entre les lieux observés et les lieux calculés. Mais quel était cet instrument? Voilà ce qui ne se trouve nulle part indiqué.

Les quelques notions saines qu'on rencontre dans l'astronomie hindoue viennent très-probablement d'emprunts faits aux Grecs par l'intermédiaire des Arabes. « Les méthodes énigmatiques des Indiens ont toujours été, dit Delambre, inconnues aux Grecs, et ne nous ont été expliquées que depuis un petit nombre d'années; en sorte que les Grecs n'ont eu aucune obligation aux Indiens, si ce n'est peut-être pour les constellations, ce qui d'ailleurs est loin d'être prouvé... On ne peut affirmer que les Indiens aient observé, pas même qu'ils aient eu le moindre instrument. Il n'y a nulle apparence qu'on découvre jamais chez eux d'observations originales, dont la date soit certaine. Il est bien singulier que les Indiens, qui savaient calculer tant bien que mal les éclipses, qui aujourd'hui même les annoncent dans leurs almanachs, n'en aient jamais observé, ou du moins qu'il n'en reste aucun vestige; tandis que les Chinois, qui passent pour de moins habiles calculateurs, en ont tenu des registres, et les ont si longtemps consignées dans leurs Annales. On nous parle de leurs sphères et de leurs gnomons... Mais il est surprenant que dans leurs écrits il ne soit jamais question d'ombres solstitiales, et rarement d'ombres équinoxiales; que le Sourya Siddhanta, qui contient les principes de l'astronomie hindoue, ne dit qu'en passant un mot de la sphère armillaire, qui leur servait à diviser le zodiaque en *nakschotras* (hôtelleries), et qu'on ne trouve que dans les Commentaires de ce livre quelques renseignements imparfaits, et aucune observation réelle. Leurs sphères armillaires avec leur globe terrestre, qui en occupe le centre, et toutes leurs orbites planétaires, paraissent des meubles de cabinet plutôt que des instruments destinés à de véritables obser-

vations. Leurs fausses latitudes et leurs fausses longitudes paraissent peu propres au calcul. L'étoile des Poissons, à l'intersection de l'équateur et de l'écliptique, a été fort commode pour leurs observations; mais cet avantage n'a pu être d'une longue durée, la précession la déplaçant continuellement, et on ne voit pas ce qui les a réglées à d'autres époques. Avec leur obliquité de l'écliptique de 24°, avec leur ignorance de la réfraction, avec les erreurs qu'ils devaient commettre sur la hauteur du pôle, on ne voit pas comment ils auraient pu trouver la longitude et la latitude des étoiles. Ils n'en ont désigné que vingt-sept, c'est-à-dire une dans chaque *nakschatra* (hôtellerie ou station de la Lune dans le zodiaque); et comment ces positions s'accordent-elles, soit entre elles, soit avec les nôtres? Elles ne sont généralement données qu'en degrés. On peut donc en conclure que jamais les Hindous n'ont été véritablement observateurs, qu'ils n'ont pu avoir rien de précis, à moins qu'ils ne l'aient reçu de leurs voisins, et que ces emprunts mêmes n'ont eu lieu que fort tard. Bref, les travaux des Indiens, si tant est qu'ils aient travaillé, font un chapitre à part, et l'on pourrait absolument le supprimer, sans que le tableau du progrès de la science en fût moins complet[1]. »

Chez les Brahmines, le titre de savant n'était donné qu'aux grammairiens, aux métaphysiciens et aux théologiens, et ceux-là ne se livrent qu'à des subtilités qui attestent leur ignorance. L'astronomie paraît indigne de leur attention, parce que cette science s'occupe d'objets trop matériels; ils lui préfèrent l'astrologie, parce qu'elle a pour but de pénétrer les desseins du ciel et de prévoir l'avenir.

1. Delambre, *Astronomie ancienne des Indiens*, dans son *Histoire de l'astronomie*, t. I, p. 494 et 517.

CHAPITRE III.

CHALDÉENS.

La science des Chaldéens était en même temps celle des Assyriens et des Babyloniens. Aussi les Grecs et les Romains, desquels nous tenons à peu près tout ce que nous savons des Chaldéens, attachaient-ils à ce nom moins l'idée d'un peuple particulier que celle d'une classe de savants, spécialement initiés à l'astronomie et à l'astrologie[1].

Des peuples qui habitaient de vastes plaines, comme celles de la Mésopotamie, entre l'Euphrate et le Tigre, et qui étaient obligés, par la chaleur du climat, de choisir la nuit pour voyager et mener paître leurs troupeaux, « sous un ciel ouvert de toutes parts (*cœlum ex omni parte patens atque apertum*), » ces peuples devaient se livrer de bonne heure à l'observation des astres. C'est là une re-

1. Hérodote nous présente les Chaldéens comme prêtres de Bélus, dieu national des Babyloniens. Strabon les nomme les sages de la Babylonie, et Diodore en fait une caste d'hommes qui était chez les Babyloniens ce que le collége des prêtres était chez les Égyptiens. Du reste, dans la plupart des États de l'Orient, les peuples étaient, de temps immémorial, divisés en castes dont chacune avait ses attributions et ses priviléges particuliers.

marque fort juste, que Cicéron avait appliquée aux Assyriens, souvent pris pour synonymes de Babyloniens.

A quelle époque remontent les observations des Babyloniens? A en croire les Babyloniens eux-mêmes, ils observaient le ciel depuis 470 000 ans. « Mais, ajoute Cicéron qui nous a donné ce renseignement, ces hommes sont ou vains, ou ignorants, ou insensés; ils mentent effrontément sans craindre le jugement de la postérité[1]. » On voit qu'il répugnait au grand orateur romain d'attribuer à l'espèce humaine une aussi haute antiquité.

Suivant Diodore, les Chaldéens prétendaient faire remonter leurs observations astronomiques à 473 000 ans avant l'expédition d'Alexandre. Jamblique donne aux observations des Assyriens une période d'une longueur indéterminée. « Les Assyriens ont non-seulement observé, dit-il, les astres pendant 72 000 ans, comme l'affirme Hipparque, mais ils ont encore conservé la mémoire des périodes et des révolutions entières des sept planètes[2]. »

Dans le passage qui vient d'être cité, les planètes sont désignées sous le nom de *souverains du monde*, κοσμοκράτορες, parce qu'on leur attribuait, d'après les doctrines astrologiques, le gouvernement du monde. Les planètes étaient supposées régner chacune à son tour. La planète régnante s'appelait *maîtresse du temps*, χρονοκράτωρ[3]. Mais Jamblique ne nous dit pas combien les Assyriens avaient observé de ces périodes, ni même de quel nombre d'années chacune se composait.

Ces diverses prétentions à une si haute antiquité sont évidemment exagérées. En voici d'autres qui le sont beaucoup moins, et qui se rapprochent davantage de la vérité.

1. Cicéron, *De divinatione*, I.

2. *Commentaire* de Proclus sur le Timée de Platon (liv. XXIII, p. 31, édit. de Bâle).

3. *Firmicus Maternus*, lib. VI, cap. XXXIII-XL.

« J'ai ouï dire, raconte Simplicius, que les Égyptiens possédaient, par écrit, des observations astronomiques qui n'avaient pas moins de 2000 ans de date, et que les Babyloniens en avaient depuis un plus grand nombre d'années[1]. » — Simplicius, disciple de Damascius et d'Ammonius, vivait vers l'an 550 de notre ère. Si son indication est exacte, nous devrons admettre que les observations astronomiques des Égyptiens et des Babyloniens remontent à environ 3800 ans.

Au rapport d'Épigène, cité par Sénèque, les observations astronomiques se conservaient à Babylone sur des briques cuites[2]. — Cet Épigène était, suivant Pline le naturaliste, un auteur grave, qui avait étudié l'astronomie chez les Chaldéens.

Callisthène, disciple d'Aristote, qui avait accompagné Alexandre dans son expédition en Asie, trouva à Babylone des observations inscrites sur des briques, et les fit, sur l'invitation de son maître, passer en Grèce. Les plus anciennes étaient, comme l'affirme Simplicius dans son Commentaire sur Aristote, de 1903 ans antérieures à la mort d'Alexandre. Ce conquérant étant mort en 324 avant J.-C., les observations dont il s'agit remonteraient à 2227 ans avant l'ère chrétienne, ou à 101 ans après le déluge de Moïse, en supposant que ce déluge eût lieu 2328 ans avant notre ère.

Mais de graves objections s'élèvent contre l'authenticité de l'envoi de Callisthène. D'abord, Aristote ne parle nulle part de ces briques, qui auraient pu répandre tant de jour sur la chronologie des rois assyriens. Puis, Nabonassar avait détruit tous les monuments historiques antérieurs à son règne, afin que l'on commençât à dater de son avénement l'histoire des rois Assyriens; c'est là ce qu'affirme Bérose, cité dans la Chronographie de Syncelle.

1. Simplicius, *Commentar.* in Aristot. *de Cœlo*, lib. II, fol. 117 (édit. Aldine).

2. Senèque, *Quæstiones naturales*, IV, 3.

L'ère de Nabonassar commence à la première année du règne de ce roi de Babylone. Les années sont de 365 jours, et, d'après un calcul très-simple, on a trouvé que le commencement de cette ère coïncide avec le 26 février de l'an 747 avant l'ère chrétienne. Or, supposé que Callisthène eût envoyé à Aristote des observations astronomiques, elles ne pouvaient pas être antérieures à l'ère de Nabonassar. Bérose a ici une autorité incontestable; car cet historien de la Chaldée était contemporain d'Alexandre et avait enseigné l'astronomie dans l'île de Cos[1]. De plus, Bérose, cité par Pline, dit positivement que les observations astronomiques, conservées à Babylone sur des briques cuites (*coctiles laterculæ*), ne remontent qu'à 490 ans[2]. Tous les essais qu'on a tentés pour faire passer ce passage de Pline comme altéré tombent devant la saine critique. Ces 490 ans se rapportent évidemment à l'ère de Nabonassar, si l'on admet que Bérose naquit dans la dernière année du règne d'Alexandre (en 324 avant J. C.), et qu'il acheva son *Histoire de la Chaldée*, malheureusement perdue, dans la troisième année du règne du roi Antiochus III, surnommé *Dieu* (en 257 avant J. C.), auquel cette histoire était dédiée.

Le témoignage de Bérose est donc des plus irrécusables. Il est d'ailleurs corroboré par celui d'Épigène, qui fait également remonter les observations astronomiques des Chaldéens à la première année du règne de Nabonassar. Ajoutons enfin que les astronomes grecs, avant et depuis Hipparque, ne connaissaient pas d'observations astronomiques antérieures à l'ère de Nabonassar. Si Ptolémée en avait eu à sa disposition, il s'en serait servi. Ainsi, l'éclipse de Lune la plus ancienne que rapporte Ptolémée est du premier mois de la vingt-sixième année du règne de Nabonassar. L'usage exclusif que cet astronome faisait des

1. Vitruve, IX, 7.
2. Pline, *Hist. nat.*, VII, 57.

observations postérieures à cette ère et qu'il regardait lui-même comme les plus anciennes, prouve suffisamment qu'il n'en connaissait point d'autres.

Après avoir ainsi essayé d'éclaircir un des points les plus importants et des plus controversés de l'histoire de l'astronomie, nous passerons rapidement sur ce qui nous reste à dire des Chaldéens.

Suivant la tradition des Égyptiens, qui voulaient rapporter à eux l'origine de toutes les sciences, les Chaldéens étaient une colonie de leurs prêtres que Bélus avait transplantés sur les bords de l'Euphrate. Après sa mort, il reçut les honneurs divins. On lui éleva un temple en briques, l'une des merveilles de l'antiquité. C'était un édifice quadrangulaire, de douze stades de hauteur[1]. Du milieu de cet immense édifice s'élevait une tour composée de huit étages ou plutôt de huit tours superposées, dont la plus inférieure avait un stade de hauteur et autant de largeur, avec un escalier extérieur qui s'élevait, en se contournant, jusqu'au sommet du dernier étage. Cet étage supportait le sanctuaire du dieu, dont la statue en or fut enlevée par Xerxès. L'édifice était encore parfaitement intact, en 450 avant notre ère, lors du voyage d'Hérodote, qui en donne une description détaillée. Cependant, environ cent trente ans après, du temps d'Alexandre le Grand, la tour qui servait d'observatoire était déjà tombée en ruines. Le conquérant macédonien voulait la faire relever ; mais il renonça à l'entreprise : le seul déblaiement des débris avait occupé dix mille hommes pendant deux mois[2].

Les ruines de Mudjelibah, découvertes par des voya-

1. Quatre cent vingt mètres (1260 pieds), si l'on estime le stade à 210 mètres.
2. Diodore, II, 31.

geurs modernes, non loin de Hilleh, aux bords de l'Euphrate, paraissent se rapporter à la tour de Bélus[1]. Il est à remarquer que ces ruines sont, comme nos observatoires, orientées de manière à regarder par leurs faces les quatre points cardinaux. C'est aussi ce qui a lieu pour les pyramides de l'Égypte.

Quoi qu'il en soit, les Chaldéens ont laissé des observations précieuses dont les astronomes grecs ont fait leur profit. La plus ancienne dont parle Ptolémée, est l'observation d'une éclipse de Lune, faite à Babylone, le 29 du mois égyptien *thoth*, qui coïncide avec le 19 mars de l'an 721 avant J. C. Cette éclipse commença une heure après le lever de la Lune, et fut totale. La seconde éclipse lunaire dont l'observation a été transmise par les Chaldéens, arriva l'année suivante, dans la nuit du 8 au 9 mars de l'an 720 avant notre ère.

Les Chaldéens savaient, par tradition, que la Lune brille d'une lumière empruntée et que ses éclipses proviennent de l'ombre de la Terre. A la vue de ces phénomènes naturels, ils ne pouvaient donc pas être saisis de cette crainte superstitieuse qui faisait dire à d'autres peuples de l'Asie que c'est un dragon qui étend ses griffes noires sur l'astre éclipsé et qu'il cherche ainsi à l'avaler.

Au lieu de faire de la Lune un satellite de la Terre, les Chaldéens la mettaient au nombre des planètes; mais ils avaient soin d'ajouter que c'est la plus petite des planètes, bien qu'elle paraisse la plus grosse, et qu'elle exécute sa révolution dans le plus court espace de temps, parce qu'elle est la plus voisine de la Terre[2].

Il n'est guère probable que les Chaldéens aient été véri-

1. Cette tour était, selon toute apparence, la *tour de Babel*, dont il est question dans la Bible.

2. Voyez notre volume *la Chaldée*, *la Babylonie* (dans la collection de l'*Univers pittoresque*), p. 212, Paris, 1852.

tablement en possession d'une longue suite d'observations consignées dans des tables astronomiques. Ils ne peuvent donc avoir été conduits à prédire les éclipses de Lune que par une méthode particulière qui s'appliquait en même temps aux éclipses de Soleil ; car, bien que Ptolémée ne mentionne pas d'observations d'éclipses de Soleil dues aux Chaldéens, ces derniers devaient les savoir prédire aussi bien que les éclipses de Lune, s'ils ont réellement découvert la période de dix-huit ans, appelée *saros*, du mot chaldéen *sahara*, Lune[1].

Le Saros des Chaldéens.

Un mot sur cette période, si importante pour l'histoire de l'astronomie.

Les éclipses de Lune sont produites par l'ombre de la Terre, projetée dans l'espace jusqu'à la rencontre du disque de la Pleine Lune (la Lune en opposition avec le Soleil), de même que les éclipses de Soleil sont produites par l'ombre de la Nouvelle Lune (la Lune en conjonction avec le Soleil), projetée à la surface de la Terre. Voilà un fait que les Chaldéens n'ignoraient pas.

En présence des phénomènes périodiques, tels que le retour régulier des saisons, des phases de la Lune, des mois, des années, les observateurs de la tour de Bélus devaient de bonne heure se demander si les éclipses jouissent de la même périodicité. Ils mettaient sans doute un haut prix à la solution de ce problème, puisque de là dépendait la prédiction des éclipses. Mais pour le résoudre il fallait d'abord avoir acquis une connaissance exacte de la condition fondamentale de toute production d'éclipse. Cette condition est que la latitude de la Lune ou que sa distance à l'écliptique (cercle oblique parcouru par le Soleil dans

1. Voyez Suidas, au mot Σάρος.

son mouvement propre annuel) ne dépasse pas l'étendue du demi-diamètre du Soleil, ou qu'elle reste inférieure à la moitié d'un degré du cercle. Ce n'est donc que près des nœuds ou aux nœuds mêmes de l'orbite lunaire, c'est-à-dire aux points où l'orbite de la Lune coupe l'écliptique, que l'obscurcissement de l'astre peut s'effectuer. Or, ce phénomène ne se produisant pas tous les mois, il est évident que la latitude de la Lune change d'un mois à l'autre. Il s'agissait donc de savoir après combien de révolutions synodiques ou après combien de fois environ vingt-neuf jours et demi (intervalle de temps compris entre deux conjonctions ou oppositions consécutives) la latitude redevient *écliptique*, c'est-à-dire susceptible de donner des éclipses. Mais à cette même latitude est liée la distance du Soleil au nœud de l'orbite lunaire. Il ne suffit donc pas, pour qu'une éclipse se reproduise, qu'il se soit écoulé, entre la première date et la seconde, un nombre exact de fois vingt-neuf jours et demi ; il faudra, de plus, que le Soleil soit revenu à la même position relativement aux nœuds de l'orbite de la Lune. Or le temps que le Soleil met à revenir au même nœud est un certain nombre de fois trois cent quarante-six jours et une fraction de jour (346 j. 62), révolution beaucoup moins longue que celle des équinoxes, à cause du déplacement considérable de chaque nœud lunaire d'orient en occident[1]. Ce sera donc après des multiples de trois cent quarante-six jours et une fraction de jour que le Soleil réoccupera les positions où les mêmes éclipses avaient été observees. En somme, pour résoudre le pro-

1. Le mouvement des points d'intersection de l'orbite de la Lune avec l'écliptique, de ces *nœuds* tout à fait analogues aux équinoxes solaires, est trop marqué pour que les Chaldéens l'aient méconnu. Ils pouvaient ignorer le mouvement des équinoxes, qui n'est pas même d'une minute (50″) par an ; mais ils devaient connaître celui des nœuds lunaires, qui se déplacent, pendant la même période et dans le même sens (d'orient en occident), de plus de 19 degrés, ou plus

blème, il faut que l'intervalle compris entre deux périodes où les mêmes éclipses se reproduisent soit égal, d'une part, à un multiple de vingt-neuf jours et demi, et, de l'autre, à un multiple de trois cent quarante-six jours, en chiffres ronds. Or il se trouve qu'en multipliant 29 1/2 par 223 on obtient, à peu de chose près, le même produit qu'en multipliant 346 par 19. Ce produit (6 570), divisé par 365 (nombre des jours de l'année), donnera pour quotient 18, qui est le nombre d'années formant la période cherchée [1]. Ainsi donc, après dix-huit années solaires révolues, le Soleil se retrouvera, soit en opposition (pour les éclipses de Lune), soit en conjonction (pour les éclipses de Soleil), à la même distance des nœuds de l'orbite lunaire où il était situé au commencement de la période ; en d'autres termes, les éclipses se reproduisent tous les dix-huit ans, aux mêmes jours de l'année, dans le même ordre et dans les mêmes conditions de grandeur. Il suffisait, par conséquent, d'avoir observé les éclipses pendant une période de dix-huit ans pour être à même de prédire celles qui devront avoir lieu dans une seconde, dans une troisième, dans une quatrième période, etc., de même durée.

Voilà tout le secret du *saros*, de cette période dont se servaient les Chaldéens pour prédire les éclipses [2]. Quel-

exactement de 19° 20′ 29″,7, ce qui correspond à 3′ 10″,6 par jour. Il ne fallait donc pas une bien grande habileté d'observation pour constater que si, par exemple, le nœud ascendant était placé près d'une étoile au commencement d'une lunaison, on le trouverait situé près d'une étoile plus occidentale d'environ un degré et demi (1° 33′ 49″,6), au commencement de la lunaison suivante.

1 En opérant sur des nombres plus exacts, on a, d'une part, $29^j,53 \times 223 = 6585,19$, et de l'autre, $346^j,62 \times 19 = 6585,78$. Si l'on divise ensuite 6585,19, durée de 223 mois lunaires, par $365^j,2422$, durée d'une année solaire, on aura $18\frac{2}{3}$ pour quotient.

2. Bien que cette période de 18 ans ne soit pas rigoureusement exacte (elle est de 18 ans 8 mois), à cause de certains mouvements longtemps restés inaperçus, on y a cependant encore recours pour

ques philosophes grecs, particulièrement Thalès, en avaient connaissance.

Le jour étant égal à la nuit au moment des équinoxes, les astronomes babyloniens paraissent avoir choisi ce moment pour diviser le *nyctémère* — mot grec qui signifie littéralement *nuit-jour* — en vingt-quatre parties égales, douze pour le jour et douze pour la nuit. C'est ce qu'on appelait les *heures équinoxiales* (ὥραι ἰσημερίναι). Hérodote affirme positivement que cette division est venue des Babyloniens aux Grecs.

Les heures civiles ou *temporaires* (ὥραι καίρικαι) étaient bien différentes des heures équinoxiales. Leur durée variait suivant les saisons ou suivant la longueur du séjour du Soleil au-dessus de l'horizon ; elles étaient conséquemment plus grandes en été et plus petites en hiver que les heures équinoxiales. La première heure du jour et la première heure de la nuit commençaient, l'une au lever, l'autre au coucher du Soleil; l'instant du midi tombait au commencement de la septième heure du jour, et l'instant de minuit au commencement de la septième heure de la nuit. L'usage du *temps moyen* paraît alors avoir été inconnu. Cependant une division uniforme du temps était nécessaire pour l'exactitude des observations astronomiques. Aussi les Chaldéens devaient-ils avoir des instruments propres à mesurer uniformément le temps, à donner le temps moyen. Ils connaissaient probablement les horloges solaires, les gnomons et les clepsydres. Mais nous manquons à cet égard de renseignements précis.

indiquer d'avance les conjonctions et les oppositions, qui peuvent devenir écliptiques et servir à déterminer les effets de la parallaxe et de l'inclinaison de l'orbite lunaire relativement à la grandeur de l'éclipse.

CHAPITRE IV.

ORIGINE DE L'ASTROLOGIE.

Ceux qui savaient prédire des éclipses devaient, aux yeux de la multitude, passer pour assez habiles à prédire l'avenir, et peut-être n'étaient-ils pas fâchés — l'homme est si infatué de lui-même ! — de voir cette croyance se populariser. C'est ainsi que la crédulité et la vanité se donnaient la main. Telle est, selon moi, la véritable origine de l'astrologie ; elle tient de la nature humaine. Cela est si vrai, qu'à toutes les époques les astronomes se sont plus ou moins transformés en prophètes du temps.

Les Chaldéens s'abandonnèrent probablement les premiers au courant naturel qui devait les changer en astrologues et en devins. Peut-être s'y prêtaient-ils eux-mêmes de bonne grâce, à en juger du moins par certaines doctrines et par quelques faits historiques.

Diodore nous a conservé un précieux fragment de leurs doctrines astrologiques. « Ayant observé les astres depuis les temps les plus reculés, les Chaldéens, dit notre historien, en connaissent exactement le cours et l'influence sur les hommes et prédisent à chacun l'avenir. La doctrine qui est, selon eux, la plus importante, concerne le mouvement des cinq astres que nous appelons *Planètes*, et

que les Chaldéens nomment *Interprètes*. Parmi ces astres errants, ils considèrent comme le plus influent celui auquel les Grecs ont donné le nom de *Kronos* (Saturne), et qui est connu des Chaldéens sous le nom de *Hélus*. Les autres planètes portent, comme chez nos astrologues, les noms de Mars, Vénus, Mercure et Jupiter. Les Chaldéens les appellent *Interprètes*, parce que les planètes, douées d'un mouvement particulier que n'ont pas les autres astres (étoiles), qui sont fixes et assujettis à une marche régulière, annoncent les événements futurs et expliquent aux hommes les bienveillants desseins des dieux. Les observateurs habiles savent, disent-ils, tirer des présages du lever, du coucher et de la couleur de ces astres; ils annoncent aussi les tempêtes, les pluies et les chaleurs excessives. L'apparition des comètes, les éclipses de Soleil et de Lune, les tremblements de terre, sont autant de signes de bonheur ou de malheur pour les pays et les nations, aussi bien que pour les rois et les particuliers. Au-dessus du cours des cinq planètes sont placés trente astres, appelés les *Dieux conseillers*, dont une moitié regarde les lieux de la surface terrestre, l'autre moitié les lieux que sont au-dessous de la Terre. Ces conseillers inspectent tout ce qui se passe à la fois parmi les hommes et au ciel. Tous les dix jours l'un d'eux est envoyé comme messager des régions supérieures dans les régions inférieures, tandis qu'un autre part des lieux situés au-dessous de la Terre pour remonter dans ceux qui sont au-dessus. Ce mouvement est exactement défini, et a lieu de tout temps dans une période invariable [1]. »

Avec de pareilles doctrines, les Chaldéens devaient dérober au public les secrets de leur science. Pour mieux y réussir, ils mêlaient çà et là le vrai au faux, comme l'atteste cette citation, qui débute par une très-belle proposition astronomique, pour aboutir brusquement à des

1. Diodore, II, 30.

fantaisies astrologiques : « Chaque planète, dit Diodore, a son cours particulier. Les planètes ne diffèrent entre elles que par leur vitesse et la durée de leurs révolutions.... Les astres influent beaucoup sur la naissance des hommes et décident du bon et du mauvais destin; c'est pourquoi les observateurs y lisent l'avenir. Ils ont ainsi fait des prédictions à un grand nombre de rois, entre autres, au vainqueur de Darius, à Alexandre, et aux rois Antigone et Séleucus Nicator[1]. »

Les Chaldéens enseignaient aussi que le monde est éternel, qu'il n'a jamais eu de commencement et qu'il n'aura jamais de fin. Selon leur philosophie, l'ordre et l'arrangement de la matière sont dus à une Providence divine; rien de ce qui s'observe au ciel n'est l'effet du hasard; tout s'accomplit par la décision souveraine des dieux.

Après la mort d'Alexandre, prédite par les Chaldéens[2], Babylone, où les prêtres astronomes avaient leur collége et leur observatoire, tomba pour ne plus jamais se relever. Les dernières observations (deux positions de Mercure et une de Saturne, rapportées à des étoiles fixes) que Ptolémée cite comme ayant été faites à Babylone, appartiennent aux années 245, 237 et 229 avant l'ère chrétienne. A cette époque, les Grecs s'étaient déjà en grande partie approprié la science des Chaldéens.

On a beaucoup discuté pour savoir si l'astronomie est plus ancienne que l'astrologie, ou inversement. La vérité est que, par leur origine, elles sont contemporaines; ce que nous venons de dire des Chaldéens le démontre suffisamment.

1. Diodore, II, 31.

2. Les Chaldéens avaient prédit à Alexandre qu'il mourrait à Babylone, s'il rentrait dans cette ville; ils lui avaient annoncé aussi qu'il échapperait à un grand danger, s'il relevait le tombeau de Bélus, détruit par les Perses. Diodore, XVII, 112.

CHAPITRE V.

PHENICIENS.

Les Phéniciens paraissent avoir été les premiers à organiser en quelque sorte le culte des astres; c'étaient des adorateurs plutôt que des observateurs.

Héliopolis, de Phénicie, était, de toute antiquité, célèbre par le culte du Soleil, comme son nom déjà l'indique[1]. Ses prêtres s'appelaient *Abd-sems*, c'est-à-dire *serviteurs du Soleil*, nom que les Grecs ont littéralement traduit par *Héliodules*. Les chevaux et les chars du Soleil dont il est parlé dans la Bible étaient pour ainsi dire les emblèmes de la Phénicie. Les quatre chevaux du Soleil composaient la tétrade mystique à laquelle les Phéniciens offraient, comme les Perses, des sacrifices. On sait que dans tout le paganisme les chevaux, symbole de la vitesse, par allusion peut-être à la vitesse des rayons solaires, étaient consacrés au Soleil. Le mot *Abd-susim*, qui signifie *adorateurs de chevaux*, se rencontre souvent dans les inscriptions phéniciennes. Le Soleil, comme objet d'un culte spécial, n'était pas représenté figurativement; il ne l'était que symboliquement, par des chevaux et des chars.

1. Macrobe, *Saturnales*, I, 23.

Il y avait un de ces chars à Héliopolis, en Phénicie, à Mabug sur l'Euphrate, et à Émèse.

A ce culte se liait intimement celui de Melkarth ou Hercule de Tyr, qui est souvent représenté comme le conducteur du char solaire, attelé de quatre chevaux. Dans l'allégorie physico-mystique, il a pour symbole une colonne (obélisque), surmontée d'une flamme. Dans l'allégorie mythique, le conducteur du char du Soleil est tué par Typhon et demeure privé de vie pendant toute la saison d'hiver; il ne se réveille qu'à l'équinoxe du printemps pour recommencer sa carrière. Les colonnes, symboles des rayons du Soleil, étaient particulièrement vénérées dans le temple de Tyr; elles portaient le nom de *Khammanim* (de *Khamma*, soleil ou chaleur).

Le culte de la Lune était inséparable de celui du Soleil. Suivant les différentes phases que présente cet astre, on lui attribuait des influences diverses, plus ou moins malfaisantes. Chaque nouvelle Lune était pour les Phéniciens, comme pour beaucoup d'autres peuples, l'occasion de fêtes solennelles (*néoménies*). Plusieurs divinités avaient la Lune dans leurs attributions; telle était Astarté, avec son double caractère de bon et de mauvais génie (*bona cœlestis*, et *inferna cœlestis*). Son char était traîné, non plus par des chevaux, comme celui du Soleil, mais par des bœufs.

Les Planètes étaient des divinités naturellement subordonnées au Soleil, qui leur donne la lumière, la chaleur et la vie. Mercure, Vénus et Mars étaient les *assesseurs* (παρέδροι) du Soleil, parce qu'ils transmettaient à la Terre les forces reçues de l'astre radieux.

On ne sait rien de particulier sur le culte de la planète Mercure chez les Phéniciens. Les Carthaginois lui avaient consacré le *promontorium Hermæum* (cap de Mercure), en Espagne. Son nom indigène était *Mokim* ou *Monim*, perfide. Ce dieu avait un caractère double ou bilatéral; il était,

suivant les circonstances, un bon ou un mauvais génie. On attribuait le même caractère au Soleil et à la Lune

La planète Mars, nommée *Aziz* (puissant), était l'astre de Baal-Khammoun ou Hercule de Tyr. Elle représentait le feu comme principe destructeur, probablement à cause de sa couleur d'un roux ardent. Mars était, d'après les astrologues, d'une influence malfaisante.

La planète Saturne était, ainsi que la planète Jupiter, consacrée au plus ancien et plus grand des dieux, à *El* ou *Baal* (Kronos), patron de Béryte et de Byblos. La planète la plus éloignée du Soleil et contenant dans son orbite les orbites de toutes les autres planètes, Saturne, passait pour l'astre qui domine le sort de tous les mortels. Les Phéniciens ne lui attribuaient aucune influence malfaisante.

Il y avait à Tartessus, colonie phénicienne, un temple célèbre, élevé en l'honneur de la planète Vénus. C'est sans doute par allusion à ce culte que les Romains l'appelaient lumière divine, *lux divina*, ou porte-lumière, *Lucifer*. Sur quelques anciens monuments on voit le disque de l'astre brillant, placé au sommet de la tête de la déesse qui symbolisait le principe vivifiant de la nature.

Savait-on à Tyr et à Sidon que l'étoile du matin et l'étoile du soir est une seule et même planète (Vénus)? On ne saurait émettre à cet égard que des conjectures.

Au reste, les Phéniciens, bien qu'ils soient de la même race sémitique que les Chaldéens, paraissent cependant avoir été peu enclins à l'étude de l'astronomie. Faut-il en attribuer la cause à la configuration montagneuse de leur pays? Mais les mers, que ces hardis commerçants sillonnaient avec leurs navires, devaient, au moment des calmes, se prêter merveilleusement à l'observation des astres. L'étude du ciel étoilé était même indispensable au pilote pour s'orienter, après avoir perdu de vue les côtes.

Aratus nous apprend que, dans leurs longues navigations, les Tyriens se guidaient d'après la Petite Ourse, appelée *Cynosure* (queue de chien), comme étant plus

voisine du pôle que la Grande Ourse, nommée *Hélice*, qui servait de guide aux Grecs[1].

A l'époque où la puissance maritime des Phéniciens était, il y a trois mille ans, à son apogée, le pôle du monde se trouvait, en effet, plus rapproché de la Petite Ourse que de la Grande; il coïncidait sensiblement avec l'étoile de la constellation du Dragon, qui serpente entre les deux Ourses[2].

1. Aratus, *Phænomena*.

> Sed quia Sidoniis dux est Cynosura carinis,
> Rectior undoso cursus sulcatur in æstu.

2. Voyez nos *Saisons*, 2e série, p. 16 et suiv.

CHAPITRE VI.

HÉBREUX.

Malgré leurs rapports avec les Chaldéens, les Hébreux sont restés presque complétement étrangers aux connaissances astronomiques. Leur calendrier, fondé principalement sur des observations agronomiques, était très-imparfait; leurs divisions horaires du jour et de la nuit n'étaient pas constantes, et leurs périodes lunaires étaient très-défectueuses. Cependant leur semaine, *schabouah*, était une période régulière de sept jours, désignés par le premier, le second, le troisième, etc., jour du *Sabbat*, correspondant à nos dimanche, lundi, mardi, etc. Quant à la connaissance, fort ancienne, qu'ils avaient de l'année divisée en trois cent soixante-cinq jours, elle était très-probablement d'importation égyptienne.

Voici les constellations qu'on trouve mentionnées dans l'Ancien Testament, la Bible des Hébreux: 1° La Grande-Ourse, *Asch* (עש)[1], nom qui rappelle la racine arabe *aouas*, faire un circuit; c'est, de toutes les constellations circompolaires, la plus apparente. — 2° Les Pléiades, *Kimah* (כימה), nom dérivé de *Kamah*, désirer, parce que cette

1. Lévitique, xxv, 27 et 50.

constellation annonçait le retour désiré du printemps ; et, en effet, d'après un calcul facile, fondé sur la précession des équinoxes, le lever des Pléiades annonçait, il y a 3500 ans, du temps d'Isaac et Jacob, le retour du printemps. — 3° Orion, *Kesil* (כסיל). Quelques interprètes ont rendu ce nom par *Scorpion*, constellation remarquable par une étoile de première grandeur, d'un éclat rouge (*Antarès* ou cœur du Scorpion). Mais le passage suivant de Job : « Pourras-tu délier les liens du *Kesil*[1] ? » tranche la question en faveur d'Orion. Dans les antiques légendes de l'Orient, Orion était un géant impie, qui avait été attaché au ciel par des liens solides. Et si le nom de *Kesil* n'a, selon quelques interprètes, que le sens général de *constellation*, on avouera que ce nom conviendra particulièrement à Orion, qui est, sans contredit, la plus belle constellation de notre ciel, la constellation par excellence. — 4° Le Dragon, *Nakhasch* (נחש)[2]. L'étoile la plus brillante (de deuxième à troisième grandeur) de la constellation du Dragon, serpentant entre la Grande et la Petite Ourse, marquait, du temps des patriarches, le pôle nord. Enfin, le mot *Masaroth* (מזרות)[3], qu'on a traduit par *demeures* [du Soleil], désigne les constellations du zodiaque que le Soleil paraît occuper successivement dans sa course annuelle.

Mais toutes ces indications sont bien vagues et pour la plupart d'une valeur contestable. D'ailleurs il y a loin de la connaissance de quelques constellations à une science astronomique, et l'astronomie d'alors, intimement liée à celle des astrologues, était trop peu en harmonie avec les doctrines mosaïques pour être favorisée par les prophètes, ennemis de toute superstition, qui ne voulaient pas qu'on

1. Job, XXXVIII, 31-32; IX, 9.
2. Job, XXVI, 13.
3. II Rois, XXIII, 5.

interrogeât les signes célestes et qu'on s'en épouvantât à la façon des païens[1]. « Écoutez ce que le Seigneur a dit pour vous, maison d'Israël : Ne vous rendez point les disciples des erreurs des nations ; ne craignez point les signes du ciel comme les nations les craignent[2]. »

La science est l'œuvre commune du genre humain, sans distinction de races. Mais une nation qui, comme le peuple israélite, interdisait tout commerce intellectuel, tout échange de lumières avec les autres nations réputées impures, devait nécessairement rester, par sa propre volonté, en dehors du mouvement scientifique général.

1. Voyez S. Munck, *La Palestine* (dans l'*Univers pittoresque*), p. 424 (Paris, 1845).
2. Isaïe, XIII, 10.

CHAPITRE VII.

ÉGYPTIENS.

Il n'y a peut-être pas de pays au monde dont la configuration physique ait plus influé sur la civilisation d'un peuple que la terre de Mizraïm, la terre d'Égypte. Une vallée étroite, régulièrement fécondée par un fleuve incomparable, encaissée à l'est par une chaîne de montagnes qui la sépare de la mer Rouge, à l'ouest par les bancs de sable du désert, une telle contrée était bien faite pour donner à ses habitants l'idée de se suffire à eux-mêmes et de repousser tout commerce avec les nations étrangères, réputées toutes barbares ou ennemies. Ce genre d'exclusivisme, dont héritèrent les Israélites, s'explique moins chez les Chinois, ces Égyptiens de l'Asie.

Le cours du Nil est sensiblement parallèle à une ligne méridienne; il va du midi au nord, comme le Soleil, lorsqu'il nous revient après le solstice d'hiver. Puis, chose digne de remarque, pendant que les autres fleuves diminuent à mesure que le Soleil décrit de plus grands arcs de cercle en s'avançant vers le solstice d'été, le Nil, au contraire, s'accroît aux environs du solstice d'été, pour diminuer ensuite avec la déclinaison de l'astre du jour. Les crues périodiques du fleuve d'Égypte furent d'abord

un sujet d'étonnement avant de devenir un objet d'études. On leur supposait longtemps bien des causes imaginaires avant de reconnaître qu'elles sont dues à des pluies et à des débordements périodiques, qui ont lieu dans l'intérieur de l'Éthiopie. Mais il s'agissait surtout de convertir un élément de destruction en un élément de fécondité. Pour dissiper les inquiétudes que faisaient naître des inondations impossibles à arrêter, on dut songer de bonne heure au moyen de mesurer les crues du Nil. C'est ainsi que fut inventé le nilomètre ou *niloscope*. C'était sans doute le premier instrument de précision, caractérisé par l'égalité de ses divisions. Il y avait tout un ordre d'employés attachés au service du nilomètre. « Ils étaient chargés, dit Diodore, d'envoyer dans toutes les villes des messages, faisant savoir de combien de coudées ou de doigts le fleuve s'était élevé, quand il commençait à baisser. Ainsi instruit de la crue et de la baisse des eaux, le peuple est délivré de toute anxiété. Chacun peut d'avance indiquer la richesse des récoltes, grâce à ce procédé, dont les résultats sont conservés, chez les Egyptiens, depuis un grand nombre d'années. »

Le Calendrier égyptien.

C'est à un personnage mythique, à Hermès ou Thaut, que les Égyptiens attribuent l'invention de toutes les connaissances utiles, particulièrement celle du calendrier. Ils le font vivre vers 3400 ans avant notre ère. Thèbes aux cent portes (Hécatompyle) devint de bonne heure célèbre par son collége des prêtres, dépositaires de la science des initiés. Ces prêtres trouvèrent, dit-on, les premiers que l'année est de 360 jours, égale aux divisions (degrés) du cercle, et qu'il faut encore y ajouter 5 jours (jours *épagomènes*), pour ne pas trop s'écarter du véritable mouve-

ment révolutif annuel du Soleil[1]. Bailly place cette découverte en l'an 2887 avant J. C., parce que c'est à cette date que remonte, dans la chronologie égyptienne, l'année solaire de 365 jours[2].

Mais l'année de 365 jours était à son tour défectueuse. Et voici comment on s'en aperçut. Quelque temps avant le débordement du Nil, on voyait briller, du côté de l'orient, un peu avant le lever du Soleil, une belle étoile; elle ne faisait que paraître, son éclat étant presque aussitôt effacé par celui de l'astre du jour. Cette étoile reçut le nom de *Sikor* ou *Siris*, étoile du Nil. La plus brillante étoile du ciel, *Sirius*, — c'est le nom qui lui a été conservé, — fut ainsi le messager céleste qui devait régulièrement annoncer aux habitants de la vallée du Nil l'approche du débordement. Inutile de dire que le jour de son apparition avait été, dès le principe, soigneusement noté. Mais déjà, au bout d'une certaine période, on avait remarqué que le lever de Sirius n'arrivait plus au jour prédit, et que tous les quatre ans il retardait d'un jour, ou, ce qui revient au même, le lever de Sirius retardait d'un quart de jour sur 365 jours. Pour mettre le calcul d'accord avec l'observation, il fallait donc donner à l'année 365 jours 1/4. Voilà l'origine de la *période égyptienne de quatre ans*, qui est précisément celle de notre année intercalaire ou bissextile.

L'année civile, composée, en chiffres ronds, de 365 jours, était une année *vague :* ses parties répondaient successivement aux différentes saisons. Loin de la rejeter, on la conservait religieusement : elle servait de mesure pour régler les fêtes qui se célébraient à de certains jours; mais ces fêtes rétrogradaient continuellement, en se promenant en quelque sorte sur tous les jours de l'année. Les

1. Hérodote, *Euterpe*, 4.

2. Bailly, *Histoire de l'astronomie ancienne*, p. 261 (2e édit., Paris, 1781).

Égyptiens croyaient ainsi bénir les saisons en les faisant jouir, chacune à son tour, de la fête d'Isis, qui se célébrait en même temps que celle de Sirius. L'année vague, qui avait une signification religieuse, fut donc maintenue.

Mais l'année vague ou *religieuse*, qui réglait les fêtes, ne pouvait pas servir à régler les travaux des champs. L'année de 365 jours 1/4 devint donc l'*année rurale* par excellence. Supposé que ces deux années, la religieuse et la rurale, eussent commencé ensemble à une certaine époque : le commencement de l'une se sera, tous les quatre ans, éloigné d'un jour du commencement de l'autre; l'année religieuse aura rétrogradé sur l'année rurale, de telle sorte qu'au bout de $4 \times 365\ 1/4 = 1461$ révolutions solaires (rurales), l'année religieuse et l'année rurale devaient recommencer ensemble la même série inégale, comme à leur premier point de départ. Cette période égyptienne de 1461 ans était connue, dans l'antiquité, sous les noms d'*année Sothique* ou *Caniculaire*, de *grande année*, d'*année de Thaut*. Elle avait commencé, dit-on, en l'an 2782 avant J. C., et eut pour symbole le Phénix.

Mais ici se présente un fait qui montre combien on a enchéri sur la science des prêtres de Memphis et de Thèbes. Si les Égyptiens avaient été des observateurs dans le véritable sens du mot, ils se seraient aperçus qu'au renouvellement de leur période caniculaire, le Soleil, ainsi que l'étoile Sirius, n'occupaient plus du tout respectivement les mêmes points du ciel que ces mêmes astres avaient occupés au commencement. Cette particularité ayant une fois éveillé leur attention, ils seraient, à force d'observer, parvenus à constater que, si l'année de 365 jours était trop courte, l'année de 365 jours 1/4 était d'environ un quart d'heure trop longue, et ils auraient pu, par la suite, découvrir le lent mouvement en longitude, non-seulement de Sirius, mais de toutes les étoiles, de toute la voûte céleste, en un mot, la *précession*

des équinoxes. En admettant même l'usage de la période Sothique, où une erreur se compensait partiellement par une autre, il n'en est pas moins certain que les Egyptiens étaient de bien médiocres observateurs du Soleil et des étoiles.

Cependant ils avaient entrepris de mesurer le diamètre du Soleil. A cet effet, ils se servaient de l'espace parcouru par l'ombre d'un gnomon à partir de l'instant où le Soleil levant commençait à montrer le sommet de son disque au-dessus de l'horizon ; cette observation ne pouvait se faire que dans une contrée où, comme en Égypte, il n'y a jamais aucun crépuscule, ni matin ni soir. Après que le disque solaire était entièrement émergé, on le comparait à l'espace que l'ombre avait parcouru. Quant au temps écoulé, on le mesurait par la quantité d'eau d'une clepsydre, et on établissait ainsi le rapport entre la grandeur du disque et celle de l'ombre[1]. Cette méthode donna pour le diamètre du Soleil la 750e partie du cercle que l'astre radieux parcourt en vingt-quatre heures.

Au rapport de Plutarque, dans son traité *De facie in orbe lunæ*, les Égyptiens prétendaient que la Lune est la 72e partie de la Terre. Mais comment l'entendaient-ils? S'ils voulaient parler du volume, ils se trompaient de beaucoup ; s'il s'agissait de la masse, ils étaient bien près de la vérité.

Quant aux étoiles, ils ne paraissent en avoir eu aucune idée exacte. Ils les considéraient, selon Diogène de Laerte, comme des feux dont les émanations formeraient par leur mélange tout ce qui naît sur la Terre.

S'il faut en croire Cicéron dans le *Songe de Scipion*, les Égyptiens ont découvert le véritable mouvement des planètes Mercure et Vénus autour du Soleil. C'est ce qui fit nommer ces planètes compagnons ou satellites du Soleil,

1. Cléomède, Κυκλικὴ θεωρία Μετεώρων, II, 75 (p. 93 de l'édit. de Bake, Leyde, 1820, in-8°).

comites solis. Ils avaient cependant des idées complétement fausses sur les distances du Soleil, de la Lune et des planètes. Ainsi, deux astronomes, Potosiris et Necepsos, cités par Pline au nombre des plus célèbres, avaient trouvé le degré du cercle ou orbite lunaire égal à 33 stades; les degrés du cercle de Saturne devaient être doubles de ceux de la Lune, et les degrés du cercle du Soleil, moyens entre les deux[1]. De là on aurait conclu que Saturne n'est éloigné de la Terre que d'environ 164 lieues, le Soleil de 123 et la Lune de 82. Ces déterminations, ajoute avec raison Bailly, sont absurdes[2].

Suivant d'autres témoignages, il n'est pas de pays au monde où les astres aient été observés avec plus d'exactitude qu'en Égypte. « Les Égyptiens conservaient, dit Diodore, depuis un nombre incroyable d'années des *registres* (ἀναγραφὰς) où ces observations sont consignées. On y trouve des renseignements sur les mouvements des planètes, sur leurs révolutions et leurs stations; de plus, sur le rapport de chaque planète avec la naissance des animaux, enfin sur les astres dont l'influence est bonne ou mauvaise[3]. »

Les Égyptiens étaient probablement plus astrologues qu'astronomes, car le même auteur se hâte d'ajouter : « En prédisant aux hommes l'avenir, leurs astrologues ont souvent rencontré juste; ils prédisent aussi fréquemment l'abondance et la disette, les épidémies et les maladies des troupeaux. Les tremblements de terre, les inondations, les apparitions de comètes et beaucoup d'autres phénomènes qu'il est impossible au vulgaire de connaître d'avance, ils les prévoient d'après des observations faites depuis un long espace de temps. »

Au rapport de Porphyre, les prêtres d'Égypte consa-

1. Pline, *Hist. nat.*, II, 21.
2. Bailly, *Histoire de l'astronomie ancienne*, p. 169 (2e édit.).
3. Diodore, I, 81.

craient une partie de la nuit à des ablutions et une autre à l'observation des astres. Strabon vit à Héliopolis un grand édifice où étaient logés les prêtres spécialement adonnés à l'étude de la philosophie et de l'astronomie. Clément d'Alexandrie place hiérarchiquement avant l'hiérogrammate (scribe sacré) le prêtre qui avait dans ses attributions l'horoscope. Ce prêtre était représenté tenant dans ses mains une horloge et un phénix qui portait, pendus à son bec, les livres astrologiques de Thaut, au nombre de quatre : le premier traitait des étoiles errantes, le second, des conjonctions et des oppositions; les deux autres, du Soleil et de la Lune.

On attribue à Manéthon, prêtre égyptien qui vivait 300 ans avant J. C., un poëme grec en six livres, *Sur les influences astrales* (ἀποτελεσματικά), publié pour la première fois, d'après un manuscrit de la Bibliothèque Laurentine de Florence, par Gronovius, avec une traduction latine et des notes (Leyde, 1698, in-4°). On n'y trouve que des combinaisons généthliaques ou de nativité, qui n'ont rien de commun avec la science astronomique.

Cicéron s'accorde avec Diodore sur l'habileté des Égyptiens dans l'art divinatoire et astrologique. Cet art se transmettait. Champollion-Figeac cite à cet appui deux papyrus égyptiens, écrits en grec sous le règne d'Antonin le Pieux. Les premières lignes du texte d'un de ces papyrus donnent un abrégé historique de l'astrologie. L'auteur reproduit ensuite ce qui se trouve dans beaucoup de livres des anciens sages, particulièrement des Chaldéens, de Pétosiris, et surtout du roi Néchoüs, qui avaient été eux-mêmes instruits par Hermès et par Asclépias, le même que Imouth, fils de Phtha. Venait enfin le thème natal, daté de la première heure du 18e jour du mois égyptien Tybi, de la première année du règne de l'empereur Antonin. Le reste du manuscrit est perdu; mais on peut y suppléer par un autre papyrus, mieux conservé, portant

sur la même page deux colonnes d'écriture de la même date[1].

C'est aux Égyptiens que nous devons, selon toute apparence, les noms des sept jours de la période hebdomadaire, dans l'ordre même qui existe encore aujourd'hui. Mais pourquoi avoir donné au premier jour de la semaine le nom de lundi (*dies Lunæ*); au deuxième, celui de mardi (*dies Martis*); au troisième, celui de mercredi (*dies Mercurii*); au quatrième, celui de jeudi (*dies Jovis*); au cinquième, celui de vendredi (*dies Veneris*); au sixième, celui de samedi (*dies Saturni*); au septième, celui de dimanche (*dies Solis*)? Car cet ordre n'était pas celui de l'astronomie, qui rangeait les planètes dans l'ordre suivant : Lune, Mercure, Vénus, Soleil, Mars, Jupiter, Saturne. Dion Cassius nous a donné la clef de cette énigme en nous apprenant que les Égyptiens avaient divisé le jour en quatre parties, que chacune de ces parties était sous la protection d'une planète, et chaque jour prenait le nom de la planète qui en protégeait la première partie. Voilà pourquoi, par exemple, la première partie du deuxième jour de la semaine, ayant pour protecteur Mars, s'appelait *jour de Mars*, au lieu de *jour de Mercure;* la première partie du troisième jour ayant pour protecteur Mercure, s'appelait *jour de Mercure*, au lieu de jour de Vénus, etc.

Enfin, quand on essaye de juger la science des Égyptiens par les monuments qui en restent, on arrive généralement à en concevoir une assez haute idée. Malheureusement leur interprétation est fort défectueuse et donne lieu à d'innombrables critiques, la plupart parfaitement fondées.

1. Voyez Champollion-Figeac, *L'Égypte ancienne*, p. 101 (dans la collection de l'*Univers pittoresque*).

LIVRE TROISIÈME

L'ASTRONOMIE GRECQUE.

CHAPITRE I.

ÉCOLE IONIENNE.

Parmi les colonies grecques de l'Asie Mineure, Milet, capitale de l'Ionie, située en face de Pryène et de l'embouchure du Méandre, non loin de l'île de Samos, occupait le premier rang par sa prospérité matérielle et son esprit d'indépendance. Ce fut là aussi que se trouvait concentrée, six siècles avant notre ère, la puissance intellectuelle de la nation grecque avant de franchir la mer Égée pour se fixer à Athènes.

Trois hommes de génie, Thalès, Anaximandre et Anaximène, naquirent à Milet et se succédèrent comme chefs de l'*école ionienne*, qui, la première parmi les écoles philosophiques, prit pour base de ses travaux l'observation de la nature.

Thalès.

L'un des sept sages de la Grèce, Thalès [1], naquit dans la première ou seconde année de la 35e Olympiade (640 ou 639 avant J. C.), et mourut centenaire, car il fut encore témoin de la conquête de l'Asie Mineure par les Perses (en 540 ou 539 avant J. C.). Ses compatriotes, les Milésiens, avaient de fréquentes relations avec l'Égypte. Il n'y eut donc rien d'étonnant à ce que Thalès allât s'initier à la science des prêtres égyptiens. Il demeura, en effet, longtemps à Naucratis et à Memphis, et il était déjà avancé en âge quand il revint dans sa patrie. Ce ne fut sans doute qu'après son retour de l'Égypte qu'il se rendit célèbre par la prédiction d'une éclipse totale du Soleil.

Éclipse de Soleil, prédite par Thalès

La détermination exacte de l'époque de cette éclipse ayant une importance capitale pour la fixation définitive de la chronologie ancienne, nous allons nous y arrêter un moment.

Hérodote raconte que des Scythes tuèrent le fils de Cyaxare, roi de Médie, découpèrent ses membres et les servirent comme un plat de venaison sur la table du roi mède, qui en mangea avec ses courtisans. Les meurtriers s'enfuirent à la cour d'Alyatte, roi de Lydie, qui leur donna asile. Ce fut là l'origine d'une guerre qui dura cinq

1. Les autres Sages étaient Solon d'Athènes, Pittacus de Mitylène, Bias de Pryène, Cléobule de Rhodes, Chilon de Sparte et Périandre de Corinthe. Ils s'étaient acquis le nom de *Sages* (σοφοὶ), moins par leur science, que par leurs sentences morales, conservées en partie dans Plutarque, Stobée et Diogène de Laerte.

ans. Au plus fort d'une bataille que se livrèrent, on ne sait pas au juste où, les Mèdes et les Lydiens, survint une éclipse de Soleil, qui avait été prédite par Thalès. Elle causa, au dire d'Hérodote, une obscurité si grande, que les combattants effrayés mirent bas leurs armes, et que les deux rois ennemis se réconcilièrent. Cette éclipse, qui mit ainsi fin à la guerre des Mèdes et des Lydiens, est devenue, pour les astronomes et les historiens, un sujet de longues discussions.

Pline place la date de cet événement dans la première année de la 48e Olympiade[1], ce qui correspond à l'an 585 avant J. C. C'est la date calculée par Riccioli[2], et adoptée par Newton. Scaliger, en consultant les *Tables* défectueuses de son temps, lui assigna l'an 583 avant J. C. Volney fit tomber cette éclipse dans l'année 620, en se fondant sur des calculs astronomiques que Laplace n'admettait pas. D'autres, tels qu'Usher, Costard, etc., partant de données plus ou moins certaines, trouvèrent, le premier, l'année 601; le second, 630 avant J. C. Baily, astronome anglais, essaya, au moyen de *Tables* assez exactes du Soleil et de la Lune, de montrer que l'éclipse de Thalès a dû arriver dans l'intervalle compris entre 629 et 625 avant J. C.[3]. Oltmans, réfutant les autorités que nous venons de citer, assigna à l'éclipse de Thalès la date du 30 septembre 610 avant J. C.[4].

Cette dernière date fut depuis lors universellement adoptée par les astronomes; mais elle ne satisfaisait pas les historiens. D'abord, en 610, Thalès n'avait pas encore visité l'Égypte, et il était trop jeune pour être suffisamment versé en astronomie. Mais il y avait une difficulté d'un autre genre. Comment Cyaxare pouvait-il faire la guerre aux Lydiens pendant que les Scythes occupaient

1. Pline, *Hist. nat.*, II, 9.
2. Riccioli, *Almagest. Novus*, t. I, p. 363.
3. *Philosophical Transactions*, année 1811.
4. Oltmans, dans l'*Annuaire astronomique*, 1823, p. 197.

son empire et l'avaient rendu leur tributaire de 634 à 607 ?

Enfin la question n'a été résolue que de nos jours. Trois savants astronomes, Airy[1], Hind[2] et Zech[3] sont parvenus, chacun de son côté, à réhabiliter unanimement la date de Pline. Hind a pu, avec ses *Tables*, tracer la courbe de l'éclipse totale du Soleil qui eut lieu le 28 mai de la première année de la 48e Olympiade (585 avant J. C.). Cette courbe passait tout près du lieu où a dû se livrer la bataille dont parle Hérodote. Voilà comment la date, fournie par les anciens, a fini, après avoir été longtemps considérée comme fausse, par être reconnue pour vraie, satisfaisant à la fois aux exigences de l'astronomie et de l'histoire.

Avec la connaissance de la période chaldéenne du Saros, que possédaient probablement aussi les Égyptiens, il n'était pas difficile à Thalès, comme à d'autres, de prédire des éclipses[4].

On a prétendu que Thalès avait emprunté tout son savoir aux Égyptiens. Mais nous avons déjà fait voir que la division de la sphère céleste, ainsi que la division de l'année en 365 jours 1/4, et la détermination des pôles, de l'équateur, de l'écliptique, de l'inégalité du mouvement du Soleil, etc., pouvaient venir à l'esprit de tout homme qui raisonne sainement sur ce qu'il a lui-même pendant longtemps observé.

Les anciens attribuaient à Thalès deux ouvrages en vers (*Sur les Solstices et les Équinoxes* et *Sur l'Astronomie nautique*), qui ne nous sont pas parvenus[5].

1. *Philosophical Transactions*, t. CXLIII, p. 179.
2. *Athenæum*, an. 1852, p. 919.
3. *Recherches astronomiques sur les principales éclipses de l'antiquité classique*, p. 57.
4. Voyez plus haut, p. 70.
5. Voyez Roth, *Griechische Philosophie*, t. I, p. 112 (Mannheim, 1858).

Anaximandre.

Disciple et ami de Thalès, Anaximandre, né à Milet en 611 avant J. C., n'atteignit pas l'âge de son maître : il mourut à 64 ans. Au rapport de Suidas, il écrivit le premier un ouvrage didactique de géométrie, dont il ne nous reste pas même un fragment. Il employa le gnomon pour déterminer, non-seulement la hauteur du Soleil, mais encore les solstices et les équinoxes. C'est lui qui introduisit à Sparte le cadran solaire, vers 580. A cette époque la culture de la république lacédémonienne était plus avancée que celle d'Athènes ; car dès le huitième et le septième siècle avant notre ère Sparte avait des poëtes et des artistes.

Anaximandre passe pour avoir le premier imaginé des sphères de cristal dans le but d'expliquer le mouvement des astres. S'il n'y avait eu à expliquer que le mouvement général diurne du ciel, une seule sphère aurait suffi pour cela. Mais, comme le Soleil, la Lune et les planètes ont leurs mouvements propres, il fallut imaginer une sphère particulière pour chacun de ces astres[1]. Ces sphères de fantaisie, qui vinrent inutilement encombrer la science, ne font pas honneur à la sagacité du disciple de Thalès. Il fallut ensuite tant d'efforts séculaires pour parvenir à les briser ! C'est le cas de dire que plus une erreur est absurde, plus on y tient.

Le philosophe de Milet s'appliqua surtout à l'étude de la géographie. Il supposait la Terre ronde[2], comme la sphère céleste ; mais l'une et l'autre devaient périr, par

1. Origène, *Philosophoumena*, B, 6. — Plutarque, *de Placitis philosophorum*, II.

2. Suivant Eusèbe et Origène, Anaximandre supposait la *Terre cylindrique*, γῆν κυλινδροειδῆ.

cela même qu'elles avaient commencé d'exister. Il admettait une infinité de mondes, qui naissent et disparaissent dans l'infini du temps et de l'espace, considérés comme les attributs de la divinité suprême. Les créations vivantes, qui occupent la Terre, se sont successivement perfectionnées en partant des types inférieurs. C'est ainsi que l'homme fut d'abord poisson, avant de devenir un animal terrestre[1]. Cette gradation comprenait sans doute aussi le passage du singe à l'homme. L'ouvrage dans lequel Anaximandre exposait ces idées, en partie renouvelées de nos jours, avait pour titre : *De la Nature* (Περὶ Φυσέως); il était écrit en prose, contrairement à la coutume des savants d'alors, qui aimaient mieux s'exprimer en vers. Il ne nous en reste aucun fragment.

Anaximandre soutint le premier que la *Terre est libre dans l'espace*; ce qui l'empêche, suivant lui, de tomber, bien qu'elle soit sans support, c'est sa position au centre du monde. On ignore sur quoi il se fondait pour dire que le Soleil est une masse enflammée, au moins aussi grosse que la Terre. Il se servait probablement du gnomon pour déterminer l'obliquité de l'écliptique, qu'il estimait égale à 24 degrés, ou à la quinzième partie de la circonférence de la sphère.

Anaximandre ne visita pas l'Égypte, comme l'avait fait Thalès. Il eut pour disciple et héritier de son enseignement Anaximène.

Anaximène.

Également natif de Milet, Anaximène (né en 568, mort en 499 avant J. C.) se mit, comme Thalès et Anaximandre, à la recherche du *principe de toutes choses*. Thalès croyait

1. Plutarque, *Symposium*, VIII, VIII, 4.

avoir trouvé ce principe dans l'eau, et Anaximandre dans l'espace infini (ἀπείρατον). Anaximène le plaça dans l'air; pour lui, les mots *air*, *esprit*, *souffle*, *âme*, *éther*, *essence divine*, paraissent avoir été synonymes. « Tout, dit-il, vient de l'air, et tout y retourne. De même que notre âme, tout aérienne, maintient notre corps, de même aussi l'*esprit* et l'*air* (πνεῦμα καὶ ἀήρ) entourent et maintiennent l'*univers* (ὅλον τὸν κόσμον[1]).

La vapeur, le brouillard, l'eau, les pierres, le feu lui-même ne sont, d'après ce même philosophe, que des degrés de condensations différentes de l'air[2].

Comme Anaximandre, son maître et ami, Anaximène soutenait que la Terre est librement suspendue au milieu de l'air condensé, contenu dans la moitié inférieure de la sphère du monde. Mais, au lieu de lui donner une forme sphérique, il la supposait *aplatie* comme *une table* (τραπεζοειδῆ); il donnait la même forme au Soleil. D'accord avec la croyance commune, il se figurait les étoiles fixées comme des clous à une sphère tournante, solide, invisible, à cause de sa transparence. Au-dessous de cette sphère venaient les sphères des planètes, liées à la première de façon à laisser à chaque planète son mouvement propre. Quant à la composition même des planètes, elle serait le résultat de la condensation de matières primitivement à l'état de vapeur. Contrairement à l'opinion de quelques philosophes, Anaximène admettait que le mouvement diurne général du ciel s'effectuait au-dessus aussi bien qu'au-dessous de la Terre flottante.

Au reste, toutes ces hypothèses ne nous ont été transmises que très-incomplétement et tellement tronquées, qu'il est souvent impossible de saisir la véritable pensée de leur auteur.

1. Stobée, *Eclog. physic.*, I, p. 496. — Plutarque, *de Placitis philosophorum*, I, 3, 6.
2. Origène, *Philosoph.* — Cicéron, *Acad.*, II, 37, 118.

L'époque de la mort d'Anaximène coïncide avec la destruction de Sardes par les Ioniens, événement qui ne tarda pas à être suivi, en guise de représailles, par la prise de Milet et la soumission de l'Ionie à l'empire des Perses, en 494 avant J. C. Ce beau pays, où s'était un moment fixée la civilisation, ne se releva plus de sa chute.

Aux trois philosophes milésiens, Thalès, Anaximandre et Anaximène, représentant l'*école Ionienne*, se rattachent, par une étroite filiation, Xénophane, Phérécyde et Anaxagore.

Phérécyde.

Sur le trajet de Milet à Athènes se trouve la petite île de Syros, l'une des Cyclades. C'est là que naquit, en 598 avant J. C., le maître de Pythagore. Phérécyde vécut une dizaine d'années en Égypte, sous le règne d'Amasis, et mourut vers 513 ou 512. Il prit la terre (matière) pour principe de toute chose, et composa un ouvrage *Sur les sept compartiments du grand Tout*. Ces *compartiments* (μύχοι) devaient comprendre l'*espace infini* qui entoure la sphère céleste, le *ciel des étoiles fixes*, le *ciel des planètes*, la *sphère du Soleil*, la sphère de la *Lune*, la *Terre* et l'*Enfer* (le dessous de la terre). C'étaient là, conformément à la doctrine égyptienne, les lieux de retraite et les portes par où passaient et repassaient les âmes.

Diogène de Laerte, dans la *Vie de Phérécyde*, parle de l'*héliotrope* comme d'un instrument propre à mesurer les solstices, les *tropes* (retours) du Soleil. C'était probablement un obélisque ou gnomon que ce philosophe avait élevé dans l'île de Syros. Un pareil instrument pouvait, en effet, être très-utile pour déterminer le commencement de l'année grecque, en le fixant à la *première Nouvelle Lune qui suit le solstice d'été*. On sait que tous les quatre ans se renouvelait l'Olympiade ou le retour des fa-

meux jeux olympiques, où tous les Grecs se rassemblaient dans l'Élide. Mais peut-être ne s'agit-il, dans tout cela, que d'une fausse interprétation du passage suivant de l'Odyssée :

Il existe, tu en as sans doute ouï parler, une île nommée Syros, au-dessus de celle d'Ortygie, où sont les *conversions* (τροπαὶ) du soleil[1].

D'après une légende fort accréditée dans l'antiquité, Phérécyde mourut de la phthiriasis (maladie péduculaire). Cette légende paraît avoir été inventée par les prêtres de l'oracle d'Apollon à Délos, dont Phérécyde s'était attiré la haine, pour s'être exprimé trop librement sur cet oracle et avoir ainsi diminué les revenus des prêtres Déliens.

Les mots de *retours du Soleil* (τροπαὶ ἠελίοιο) signifient, suivant le commentateur Eustathe, tout simplement *du côté du soleil couchant.*

Xénophane.

Né vers l'an 470 avant J. C. à Colophon en Ionie, Xénophane fut, à l'âge de vingt-cinq ans, banni de sa patrie, tombée sous le joug des Perses, passa le reste de ses jours (plus de soixante-dix ans) en exil à Athènes et à Syracuse, et vécut plus de cent ans. Confondant l'esprit (force) et la matière en un tout indissoluble, qui était pour lui le Dieu suprême, il fut le véritable fondateur du panthéisme. On lui prête, en astronomie, une idée étrange, qui est peut-être le résultat d'un malentendu. D'après cette idée, les astres, y compris le Soleil, la Lune et les

1. Homère, Odyssée, X, 403-406 :

Νῆσος τις Συρίη κικλήσκεται, εἴ που ἀκούεις,
Ὀρτυγίης καθύπερθεν, ὅθι τροπαὶ ἠελίοιο.

comètes, seraient de simples météores, susceptibles de s'éteindre et de se rallumer; ils se mouvraient en ligne droite comme les étoiles filantes, et ne paraîtraient décrire des courbes qu'à cause de leur distance et de leur durée[1].

Comment concilier cette idée avec l'habitabilité des astres, qu'admettait Xénophane?

Anaxagore.

L'un des plus grands penseurs de l'antiquité, Anaxagore, naquit vers l'an 500 avant J.-C., à Clazomène, ville de l'Ionie, située au nord-ouest d'Éphèse. Pour lui, l'occupation la plus digne de l'homme c'est l'étude de la Nature, et particulièrement celle des astres. Quand on lui reprochait de négliger les affaires politiques de sa patrie, il se contentait, pour toute réponse, de montrer le ciel, voulant dire par là que le ciel était sa véritable patrie. A l'âge de quarante-cinq ans il vint à Athènes, et y eut pour disciples Périclès et Euripide. Voulant expliquer, par des causes physiques, des phénomènes qu'on avait jusqu'alors attribués à des influences divines, il fut accusé d'impiété et mis en prison, pour être jugé conformément à la loi qui devait maintenir intact le culte des dieux. Condamné à mort par les Athéniens, il n'échappa que par la fuite à l'exécution de la sentence capitale. Comme dans tous les temps et dans tous les pays, la caste sacerdotale se fit ici remarquer par son intolérance; les prêtres traitaient le philosophe d'*athée*, parce qu'il pensait autrement qu'eux sur les divinités. Abreuvé de dégoût par les hommes mêmes qu'il avait cherché à instruire,

1. Achille Tatius, *Isagogæ in Aratum*, cap. XI. — Stobée, *Eclogæ physicæ*, I, 534. — Plutarque, *de Placitis philosophorum*, II, 24.

il se retira à Lampsaque sur le bord asiatique de l'Hellespont, et y mourut à l'âge d'environ soixante-douze ans.

D'après la doctrine d'Anaxagore, ce n'est plus tel ou tel élément de la matière qui est le principe de toutes choses, mais une force intelligente, coordonnatrice et directrice de tout ce qui est. Cette force, cause de tout mouvement, il l'appelait νοῦς, *intelligence*, comme pour montrer qu'elle était analogue à la pensée ou à l'intelligence humaine, cause de tous nos mouvements libres. Malheureusement il n'est guère possible d'apprécier le développement de cette importante doctrine par le petit nombre de fragments qui nous en restent[1].

La chute d'un aérolithe fit naître dans Anaxagore le sentiment de la matérialité du ciel. Il paraît, en effet, avoir le premier enseigné que les astres sont formés de substances pesantes comme la Terre, que le Soleil est une masse incandescente, que la Lune est une Terre semblable à la nôtre, composée de vallées et de montagnes[2]. A l'objection qu'on lui faisait, que si les astres étaient pesants, ils tomberaient, Anaxagore répondit que leur mouvement circulaire les empêchait de tomber.

Voilà la première indication de la *force rotatoire*, signalée comme capable de retenir les corps célestes dans leurs orbites.

1. Ces fragments ont été recueillis et publiés par Schaubach sous le titre d'*Anaxagoræ Clazomeni fragmenta quæ supersunt omnia*, etc., Leipzig, 1827, in-8°. On les trouve aussi dans Mullach, *Fragmenta philosophiæ græcæ*; Paris (Firmin Didot), 1860, grand in-8°.

2. Origène, *Philosoph.*, I, VII, p. 22-22, de l'édition de M. Cruice (Paris, 1860, in-8°).

CHAPITRE II.

ÉCOLE PYTHAGORICIENNE.

Nous nous réservons de donner, dans notre *Histoire des mathématiques*, les détails relatifs à la vie de Pythagore et à ses doctrines. Nous y renvoyons donc le lecteur.

Pythagore crut retrouver le *canon musical*[1] dans l'harmonie des sphères célestes. Les sept astres errants, la Lune, Mercure, Vénus, le Soleil, Mars, Jupiter et Saturne, devaient correspondre aux sept sons de l'octave, et leurs distances ou intervalles devaient offrir les mêmes rapports. Les savants de nos jours sourient sans doute à ce rapprochement. Mais ils oublient que l'un des plus grands astronomes, que Kepler lui-même fut tellement séduit par l'idée pythagoricienne, qu'il passa plusieurs années à la retourner en tous sens, avant d'arriver à la découverte des lois qui sont les fondements de l'astronomie moderne. Les meilleurs esprits pouvaient donc s'y laisser prendre.

S'appuyant sur son canon musical, Pythagore donnait à la distance de la Terre à la Lune 126 000 stades; les $\frac{5}{2}$ de cette valeur, ou 315 000 stades, il les assignait à

1. Voyez notre *Histoire de la Physique*, p. 71-74.

la distance de la Lune au Soleil; le triple, ou 378000 stades, à la distance du Soleil aux étoiles fixes. Total : 819000 stades pour tout l'espace compris entre la Terre et le ciel des fixes. Dans cette hypothèse, la distance de la Terre à la Lune représentait l'intervalle d'un ton entier, tandis que les distances de la Lune à Mercure et de Mercure à Vénus exprimaient chacune un demi-ton ou 63000 stades; l'intervalle entre Vénus et le Soleil était celui d'un ton et demi, ou de 189000 stades; la distance du Soleil à Mars était, comme celle de la Terre à la Lune, d'un ton; de Mars à Jupiter, comme de Jupiter à Saturne, il n'y avait qu'un demi-ton; enfin de Saturne au ciel des fixes (*Signiferum*). il n'y avait qu'un ton et demi[1].

En jetant un coup d'œil sur cette table des distances, on remarque avec étonnement que le Soleil s'y trouve placé au milieu des planètes, y compris la Terre et la Lune. C'est sans doute de ce fait-là qu'on est parti pour prêter à Pythagore une idée qu'il ne paraît jamais avoir eue lui-même, à savoir que toutes les planètes tournent autour du Soleil.

On s'est beaucoup moqué de Pythagore, de son *diapason universel*, et de son *harmonie des astres*. Pline lui-même le raille d'avoir rapporté le mouvement de chaque planète à un mode ou ton spécial, par exemple, Saturne au mode dorien, et Jupiter au mode phrygien. Mais tout ridicule disparaît quand on considère les détails d'une doctrine dans leur ensemble.

Partant du principe que *tout se fait régulièrement avec nombre, poids et mesure*, Pythagore et ses disciples admettaient que le Soleil, la Lune, les planètes se meuvent circulairement et uniformément, en sens contraire du mouvement général diurne du ciel, c'est-à-dire qu'elles se meuvent de l'occident à l'orient.

1. Pline, *Hist. nat.*, II, 22. *Pythagoras, ex musica ratione, appellat tonum quantum absit a Terra Luna*, etc.

Mais comment expliquaient-ils alors les irrégularités que ces astres présentent à l'observation? Car, après avoir divisé le zodiaque en quatre quarts (quatre quarts de cercle) correspondant aux quatre saisons (le nombre *quatre* revient sans cesse dans la doctrine du maître), les Pythagoriciens devaient, comme d'autres[1], savoir que le Soleil, dans son mouvement propre annuel, parcourt des *arcs de cercle égaux dans des temps inégaux*. Ils avaient, en effet, noté avec beaucoup de soin que le Soleil met 90 jours et un huitième (3 heures) pour aller du solstice d'hiver à l'équinoxe du printemps, c'est-à-dire pour décrire le premier quart de cercle; qu'il met 94 jours et $\frac{1}{2}$ pour aller de l'équinoxe du printemps au solstice d'été, ou pour décrire le deuxième quart de cercle; qu'il met 92 jours et $\frac{1}{2}$ pour aller du solstice d'été à l'équinoxe d'automne, ou pour décrire le troisième quart de cercle; enfin qu'il met 88 jours et $\frac{1}{8}$ pour revenir de l'équinoxe d'automne au solstice d'hiver, ou pour décrire le quatrième quart de cercle : ce qui fait pour la totalité du parcours circulaire une durée de 365 jours et environ $\frac{1}{4}$.

Les Pythagoriciens savaient encore que le mouvement inégal annuel du Soleil s'effectue, non-seulement en sens contraire du mouvement général diurne de la sphère du monde, de la sphère droite des fixes, mais qu'il s'opère dans un plan incliné (sous un angle d'environ 23 degrés) sur l'équateur de cette sphère, autour duquel il forme comme une hélice; et que les plans des orbites de la Lune et des planètes approchent plus ou moins de cette inclinaison (elliptique), sans cependant coïncider avec elle. C'est là ce qui avait fait imaginer autant de sphères obliques qu'il y avait d'astres errants (sept), toutes contenues dans la sphère droite du monde.

Toutes ces sphères, au nombre de huit (une droite et sept obliques), le double du quaternaire ou de la *tétrade*,

1. Voyez plus haut, p. 49.

(le cube de deux ou de la *dyade*), que les Égyptiens supposaient solides, en cristal bleu, transparent, ajoutaient encore à la difficulté d'expliquer les inégalités des mouvements du Soleil et de la Lune, et surtout les stations et les rétrogradations des planètes Jupiter et Saturne

Pour résoudre ces difficultés, que firent les Pythagoriciens? Ils imaginèrent, au rapport de Geminus, que les centres des sphères obliques, susceptibles de se déplacer, ne coïncident pas avec le centre de la sphère du monde (sphère droite des fixes), mais qu'ils étaient situés un peu en dehors, tantôt plus près, tantôt plus loin de ce centre, enfin qu'à raison de leur *excentricité*, le Soleil, la Lune et les planètes se mouvaient, par suite d'un simple effet optique, plus vite quand ils se rapprochaient de la Terre, et plus lentement quand ils s'en éloignaient. Afin de mieux expliquer ces changements de distance, Pythagore inventa, dit-on, la fameuse théorie des cercles auxiliaires, nommés *épicycles* (littéralement des *cercles posés sur des cercles*), théorie qui fut plus tard adoptée et développée par Ptolémée.

Mais ce qui fait plus honneur au génie de Pythagore que l'invention des épicycles, c'est d'avoir, s'il faut en croire Pline, le premier trouvé que l'étoile du matin et l'étoile du soir sont un seul et même astre, Vénus[1].

Mouvement de la rotation de la Terre.

L'école de Pythagore imagina la première d'expliquer le mouvement général diurne de la sphère céleste par le mouvement de la Terre autour d'elle-même. Cela ré-

1. Pline, *Hist. nat.*, II, 6. — Præveniens quippe et ante matutinum exoriens, Venus *Luciferi* nomen accepit; contra ab occasu refulgens nuncupatur *Vesper*: quam naturam ejus Pythagoras Samius primus deprehendit.

sulte clairement de ces paroles d'Aristote : « Les pythagoriciens soutiennent que *la Terre*, *étant un des astres* (errants), *produit*, *en tournant autour d'elle-même*, *la nuit et le jour* (τὴν γῆν, ἕν τῶν ἄστρων οὖσαν, κύκλῳ φερομένην περὶ τὸ μέσον νύκτα τε καὶ ἡμέραν ποιεῖν[1]).

S'il restait encore quelque doute sur la réalité de cette antique conception, le passage suivant de Cicéron serait certainement propre à le dissiper : Hicetas de Syracuse (Pythagoricien) enseignait que le ciel, que les étoiles, etc., demeurent immobiles, pendant que la Terre seule tourne ; *celle ci*, *en tournant avec rapidité autour de son axe*, *produit exactement le même effet que si*, *la Terre demeurant immobile*, *le ciel tournait*[2]. »

Plutarque attribue la même idée à Héraclide du Pont et à Ecphante, également de l'école de Pythagore. « Héraclide du Pont et Ecphante *font*, dit-il, *tourner la Terre* (κινοῦσι τὴν γῆν), *non point par un mouvement de translation* (οὐ μὴν μεταβατικῶς), *mais par un mouvement de rotation d'occident en orient autour de son propre centre* (τρόχου δὲ δίνην ἐνζωνισμένην ἀπὸ δυσμῶν ἐπ' ἀνατολὰς περὶ τὸ ἴδιον αὐτῆς κέντρον[3]).

Ce dernier passage est au moins aussi explicite que les autres. Il s'agit bien ici, à n'en pas douter, du mouvement de *rotation de la Terre autour de son propre axe*, et non pas du mouvement de translation de notre planète autour du Soleil. Cette distinction était importante à établir, ne fût-ce que pour prévenir les confusions, si faciles à introduire dans l'histoire des sciences.

1. Aristote, *De Cœlo*, II, 13.
2. Cicéron, *Academ.*, II, 39 : ... *quæ* (sc. terra) *cum circum axem se summa celeritate convertat et torquet, eadem effici omnia, quam si stante terra cœlum moveretur.*
3. Plutarque, *de Placitis philosophorum*, III, 13.

Mouvement de translation de la Terre.

On attribue généralement à Philolaüs la découverte du mouvement de translation de la Terre. Mais cette assertion ne repose sur aucun document précis, comme nous allons le montrer. Un mot d'abord sur ce philosophe et son enseignement.

Natif de Crotone ou de Tarente, Philolaüs, élève de Pythagore, vivait dans la seconde moitié du cinquième siècle avant J. C. Contemporain de Démocrite et de Socrate, il vint se fixer à Thèbes, où il eut, entre autres, pour disciples Simmias et Cébès. Les Pythagoriciens ayant été expulsés de l'Italie inférieure, particulièrement de Métaponte, quelques historiens en ont induit que Philolaüs fut obligé de prendre la fuite pour avoir enseigné que la Terre tourne. « Cette vérité, s'écrie ici Bailly, pour laquelle Galilée perdit la liberté, aurait donc le sort de rendre malheureux, dans tous les siècles, ceux qui les premiers l'ont enseignée[1]. » La remarque de Bailly, quelque vraie qu'elle soit d'ailleurs, est au moins dénuée de fondement en ce qui concerne Philolaüs.

Suivant Diogène de Laerte, Jamblique et Porphyre, Philolaüs divulgua le premier par écrit les doctrines pythagoriciennes. Son ouvrage, complétement perdu, avait pour titre : *Les Bacchantes* (αἱ Βάκχαι) ; il était divisé en trois livres qui traitaient *Du monde* (περὶ κόσμου), *De la Nature* (περὶ φύσεως), *et de l'âme* (περὶ ψυχῆς). Ces livres sont cités par Stobée, Proclus, Nicomaque, Théon de Smyrne et Claudius Mamercus. Ce dernier nous apprend que Philolaüs avait pris pour base de son système du monde le poids, la mesure et le nombre[2].

1. Bailly, *Histoire de l'astronomie ancienne*, p. 221.
2. C. Mamercus, *De anima*, II, 7.

D'après Stobée, Philolaüs enseignait que toutes les choses qui tombent sous les sens, ont chacune un nombre sans lequel rien ne saurait être conçu, et, à en juger par quelques passages tronqués, il classait tous les nombres en nombres premiers, tous impairs, à l'exception de la *dyade*, et en nombres composés, pairs ou impairs, multiples des nombres premiers. Il admettait des harmonies de différents genres : une harmonie pour l'union des corps complexes ou hétérogènes dont l'univers se compose, une harmonie pour les âmes individuelles et une harmonie pour les astres ou pour les sphères célestes.

Comme les Pythagoriciens que nous avons cités, Philolaüs connaissait très-bien le mouvement de rotation de la Terre, puisqu'il lui attribuait la production de la *nyctéméride*, c'est-à-dire du jour et de la nuit en vingt-quatre heures. Mais en même temps il refusait à la Terre la *position centrale du monde* (τὴν τοῦ μέσου χώραν), et il la donnait au feu. « La place d'honneur doit, dit-il, être occupée par ce qui est le plus estimé ; or le feu est plus estimé que la Terre. C'est donc *autour du feu que la Terre tourne circulairement* (γῆν κύκλῳ περιφέρεσθαι περὶ τὸ πῦρ[1]). »

Mais est-ce que Philolaüs entendait par là, comme on l'a prétendu, le véritable mouvement de translation de la Terre autour du Soleil ? C'est extrêmement douteux. Car d'abord il ne dit aucunement si ce mouvement détermine la durée de l'année, comme le mouvement de rotation détermine la durée de la nyctéméride. Puis, qu'était-ce que le *feu*, τὸ πῦρ, autour duquel la Terre devait exécuter son mouvement circulaire ? Ce n'était certainement pas le Soleil, comme on pourrait être tenté de le croire, puisque le Soleil lui-même devait, dans l'opinion de Philolaüs, tourner avec les autres planètes, autour de ce feu central, qui portait aussi les noms de *foyer* (ἑστία), de *foyer du Tout* (ἑστία τοῦ πάντος), de *garde de Jupiter*

1. Aristote, *De Cœlo*, II, 13.

(Διὸς φυλακὴ), et de *mère des Dieux*. Serait-ce là l'astre central, encore indéterminé, autour duquel les astronomes modernes font tourner le Soleil avec son cortége de planètes? Cela n'est guère supposable.

Le feu central, foyer du monde, est une création fictive, qui doit être mise sur la même ligne que les sphères solides et l'*Antichthon* (le Contre-Terre). Quelques interprètes ont entendu par *Antichthon* (ἀντίχθων) l'hémisphère opposé au nôtre. Mais cette explication est inconciliable avec le mouvement de l'*Antichthon* qui, suivant Philolaüs, devait être indépendant de celui de la Terre.

Il serait inutile de nous arrêter à discuter la valeur d'idées purement imaginaires. Ces idées ont cependant un côté philosophique qu'il importe de signaler : elles montrent combien il est difficile, même pour les meilleurs esprits, de se maintenir dans la voie de l'observation, d'y marcher sans trébucher, et sans sacrifier à l'attrait d'une théorie.

En somme, rien ne nous autorise à prétendre que Philolaüs ait le premier connu et enseigné, comme le fit trois mille ans plus tard Copernic, le mouvement de translation, combiné avec le mouvement de rotation de la Terre.

Mais si, à juger par les documents qui nous restent, nous devons refuser cette conception à Philolaüs, il n'en est pas de même pour Aristarque de Samos, qui vivait deux cent cinquante ans avant notre ère. Voici ce que rapporte de lui Plutarque. « *Aristarque place le Soleil au nombre des fixes* (τὸν ἥλιον ἵστησι μετὰ τῶν ἀπλανῶν), *et fait, au contraire, mouvoir la Terre dans le cercle solaire* (τὴν δὲ γῆν κινεῖ περὶ τὸν ἡλιακὸν κύκλον)[1]. »

Plus d'équivoque. Le Soleil est rangé, comme *immobile*, ἀπλανής, parmi les étoiles proprement dites; et le cercle

1. Plutarque, *de Placitis philosophorum*, II, 24.

qu'on faisait parcourir au Soleil dans son mouvement propre annuel, le *cercle héliaque*, Aristarque, renversant les choses, le fait parcourir à la Terre. Bien plus, il lui attribuait comme nous le montrerons plus bas, le double mouvement de rotation et de translation, jusqu'alors constamment attribué au Soleil. La vérité venait enfin d'apparaître. Mais elle disparut aussitôt comme un météore, et tout rentra dans les ténèbres. Elle céda la place à l'erreur qui devait, par l'organe de tous les astronomes, continuer encore, pendant plus de vingt-cinq siècles, à faire jouer au Soleil le rôle qu'Aristarque de Samos avait assigné à la Terre.

Et après cet exemple mémorable, on ose encore invoquer le passé ou la science traditionnelle, comme une autorité devant laquelle nous n'aurions qu'à nous incliner !

Empédocle.

Natif d'Agrigente, Empédocle vivait vers 450 avant notre ère. Les Siciliens, ses compatriotes, avaient une si haute idée de son génie, qu'ils lui supposaient le pouvoir d'enchaîner les vents, et qu'ils l'avaient surnommé le *magicien* (γοης). C'est ainsi que de nos jours on s'est obstiné à supposer à plus d'un grand astronome le pouvoir de prédire le temps.

Empédocle ne s'était déclaré ouvertement pour aucune école, bien que par ses doctrines il inclinât vers le pythagorisme. Il croyait à la transmigration des âmes, et voyait des rapports mystérieux entre les corps et les nombres. Il entreprit le premier d'élever à la hauteur d'une théorie l'*amour* (φιλίη) et la *haine* (νεῖκος), en transportant ces sentiments jusque dans la nature inanimée. C'étaient pour lui des forces primordiales, à peu près identiques avec l'*attraction* et la *répulsion* des physiciens modernes.

Suivant Aristote, Empédocle mourut à soixante ans. La légende le fait monter secrètement sur l'Etna et se précipiter dans le cratère afin de ne laisser aucune trace de sa mort. Les fragments de ses écrits ont été recueillis et publiés par Karsten (*Empedoclis Agrigentini Carminum reliquiæ;* Amsterdam, 1838, in-8°)[1].

Œnopide.

Œnopide, natif de l'île de Chio, et probablement contemporain d'Anaxagore, avait voyagé en Égypte et y avait, comme Pythagore, puisé une portion de son savoir, notamment la connaissance de l'*obliquité de l'écliptique*[2]. Élien lui attribue l'invention, que Censorinus rapporte à Philolaüs, du cycle de cinquante-neuf ans pour faire concorder l'année lunaire avec l'année solaire. Œnopide faisait celle-ci de 365 jours et $\frac{22}{59}$ (près de 9 heures), ce qui ne s'accordait guère avec l'année égyptienne, qui était, comme nous avons vu, de 365 jours 6 heures. Il avait placé à Olympie une tablette de bronze, donnant une explication de son cycle, assez inexact, qui devait servir à régler le calendrier grec.

Œnopide regardait la Voie lactée comme la route qu'aurait primitivement suivie le Soleil. L'astre du jour, reculant d'horreur à la vue du banquet d'Atrée, serait sorti de son ancienne voie pour prendre le chemin actuel du zodiaque. Ce n'est là sans doute qu'un enjolivement poétique, postérieurement ajouté à l'opinion de l'astronome de Chio.

1. Voyez, pour plus de détails, l'article *Empédocle* de M. Léo Joubert, dans la *Biographie générale.*

2. Diodore, I, 48 et 98.

CHAPITRE III.

ÉCOLE D'ÉLÉE.

L'*école d'Élée*, qui avait surtout pour objet de séparer, plus nettement qu'on ne l'avait fait jusqu'alors, le raisonnement de l'observation, paraissait avoir affecté une sorte de dédain pour l'astronomie et les mathématiques. Aussi ne produisit-elle aucun astronome, ni aucun géomètre.

La plupart des historiens de la philosophie présentent Xénophane comme le fondateur de l'école d'Élée. Mais les idées de ce philosophe se rapprochent plutôt de l'école ionienne et même de l'école de Pythagore. D'ailleurs Xénophane ne s'est jamais posé comme le chef d'un enseignement nouveau. Ce serait donc parce qu'il a passé la fin de sa vie à Élée (Vélia), ville fondée par les Phocéens en Lucanie (Italie inférieure ou Grande-Grèce[1]), qu'on en aurait fait le chef de l'école éléatique. Le véritable représentant de cette école est Zénon (450 avant J. C.), l'ami et disciple de Parménide.

Héraclite, d'environ cinquante ans plus jeune que

1. Il ne faut pas, comme on l'a fait, confondre l'Élée de la Grande Grèce avec une ville de même nom, située sur le littoral de l'Éolide (Asie Mineure), près de l'embouchure du Caïque.

Zénon, fut l'auteur d'un système célèbre, mais dans lequel il n'avait donné aucune place aux sciences positives.

Les principaux philosophes modernes, particulièrement Hegel et Schelling, ont emprunté à Héraclite la plupart de leurs idées fondamentales.

CHAPITRE IV.

ÉCOLE ATOMISTIQUE.

Les philosophes de l'école éléatique niaient la réalité du mouvement et la multiplicité des substances : ces choses n'étaient, suivant eux, qu'une illusion de nos sens. *Leucippe*, fondateur de l'école atomistique (vers 460 avant J. C.), posa, au contraire, en principe la réalité du mouvement (changement) et la variété multiple de la matière. Il enseigna le premier que la matière se compose d'*atomes*, de particules insécables, dernière limite de la divisibilité. Son ami *Démocrite* d'Abdère développa cette doctrine, dont l'exposé appartient à l'histoire de la philosophie.

On prête à Leucippe un singulier mélange d'idées astronomiques et physiques. Ainsi, pendant qu'il admettait, avec les pythagoriciens, le mouvement de la Terre autour d'elle-même, on lui faisait dire que la Terre a la forme d'un tambour, qu'elle est portée comme dans un chariot, etc.[1].

Esquissant à grands traits la science de l'univers, *Démocrite* enseignait que les mondes sont chacun entourés

1. Diogène de Laerte, *Vie de Leucippe.*

d'une enveloppe (atmosphère) particulière, et qu'ils sont en nombre infini. «Les uns sont, dit-il, semblables, et les autres tout différents entre eux; il y en a sans aucun soleil, et d'autres avec plusieurs soleils; quelques-uns sont encore près de leur naissance, et d'autres ont atteint tout leur développement; d'autres enfin sont formés d'atomes ronds, angulaires ou crochus[1]. » Il admettait le plein et le vide pour expliquer la divisibilité de la matière et la possibilité du mouvement: «Tout ce qui est, disait-il, ne diffère que par la figure et les rapports des atomes entre eux.» Sa doctrine sur les atomes «immobiles de leur nature, mais ayant reçu une *impulsion primordiale* (πληγὴ), » n'a peut-être pas été étrangère à la théorie des tourbillons de Descartes. Mais de quelle nature est cette impulsion initiale? Est-ce une *force inhérente aux éléments* (βία στοιχείων); est-ce la *raison* (λόγος) souveraine, la *nécessité* (ἀναγκὴ) ou la *fatalité aveugle* (ἄλογος φύσις)? Voilà ce que ne nous ont pas clairement dit ceux qui nous ont transmis des fragments de ce grand philosophe. Conformément à son principe que « le semblable attire le semblable », il admettait un mouvement oscillatoire ou circulaire, résultat d'une force d'attraction et de répulsion.

Démocrite émet le premier l'opinion que la *lueur de la Voie lactée* est due à une innombrable quantité d'étoiles, dont chacune en particulier échappe à notre vue. Cette opinion, dont l'exactitude fut, vingt et un siècles plus tard, mise en lumière par Galilée, fait le plus grand honneur à la sagacité du philosophe d'Abdère.

1. Cicéron, *Acad.*, III, 17. — Aristote, *De Cœlo*, III,4. — Plutarque, *de Placit. philos.*, II, 7.

CHAPITRE V.

CALENDRIER GREC.

La division du temps, les Grecs l'avaient fondée sur le mois et l'année lunaires (de 354 jours). Ils comptaient les jours de leurs mois à partir de la *Nouvelle Lune*, νουμηνία. Et par *nouménie* il faut entendre, non pas la *conjonction*, σύνοδος, c'est-à-dire l'instant où la Lune se trouve interposée entre le Soleil et la Terre sur la même ligne droite qui joint ces astres, mais l'instant où la Lune, sous forme de croissant, commence à devenir visible en se dégageant des rayons du soleil couchant. C'était là le commencement du premier jour du mois ; on continuait ainsi à compter les jours jusqu'à la nouménie suivante. La Pleine Lune occupait le milieu de cette division, ce qui lui valait le nom de *dichoménie*, διχομηνία, de demi-mois.

L'intervalle compris entre deux nouvelles Lunes consécutives étant de 29 jours et d'environ 13 heures, on ne tarda pas à s'apercevoir que le mois était, en chiffres ronds, tantôt de 29, tantôt de 30 jours. Les mois de 30 jours s'appelaient *pleins*, πλήρεις, et les mois de 29 jours, *creux*, κοῖλοι. Mais, comme ce calcul était incommode pour les usages de la vie, on adopta le nombre

de 30 jours pour tous les mois indistinctement. L'année fut ainsi portée à $30 \times 12 = 360$ jours.

Les fêtes que célébraient les Grecs, devaient, aux termes de leurs institutions, coïncider avec certaines phases de la Lune et tomber dans certaines saisons. Or, l'année de 360 jours étant de cinq jours et d'un peu moins d'un quart de jour trop courte, il en résultait des changements qui devaient faire le désespoir de la caste sacerdotale. Ainsi, en moins de dix-huit ans, les saisons éprouvaient un déplacement tel que, par exemple, une fête qui devait se célébrer à l'équinoxe du printemps, tombait, par suite de l'inexacte division du temps, au moment du solstice d'hiver. Pour remédier à cet inconvénient, on imagina d'ajouter (tous les six ans) un *mois intercalaire*, μὴν ἐμβόλιμος, un treizième mois aux douze mois ordinaires de l'année. Mais on sentit bientôt combien cette réforme était insuffisante, et on revint à la division de l'année en 354 jours, en donnant aux mois alternativement 30 et 29 jours, ou en faisant 6 mois de 30 et 6 mois de 29 jours.

Mais, si l'année de 354 jours ramenait sensiblement (à 9 heures près) les phases de la Lune aux mêmes jours, elle était loin de satisfaire à l'autre condition, plus essentielle encore, de la célébration des fêtes dans des saisons déterminées. En effet, les saisons, au lieu de suivre la marche du Soleil, rétrogradaient bien plus vite encore par l'adoption de l'année de 354 jours que par celle de 360 jours. De là la nécessité de recourir de nouveau au système des intercalations. On imagina donc d'intercaler *tous les trois ans* un mois qui devait être alternativement de 29 et de 30 jours; c'était la période triennale, la *triétéride*, τριετηρὶς. Mais l'incommodité et l'insuffisance de ce mode d'intercalation ayant été également reconnues, on fit usage de la période de huit ans ou *octaetéride*, ὀκταετηρὶς, dans laquelle sur 99 mois il devait y en avoir trois d'intercalaires. Cléostrate de Ténédos passa pour avoir inventé cette période avant la 87e Olympiade. Des chan-

gements que lui firent subir Eudoxe de Cnide et Ératosthène de Cyrène, il résulta la période de seize ans, l'*hekkaïdékaétéride*, ἑκκαιδεκαετηρὶς, qui fut, à son tour, jugée défectueuse, et remplacée par une période de cent soixante ans.

Cette incertitude de la division du temps, provenant de la difficulté de faire concorder exactement les révolutions de la Lune avec celles du Soleil, éveilla de bonne heure la sollicitude des magistrats et des législateurs. Solon paraît avoir l'un des premiers provoqué une réforme sérieuse du calendrier grec. Son idée fut, plus d'une fois, reprise après sa mort, par des hommes capables. Et nous soupçonnons fort que, si Thalès, Pythagore, Platon et tant d'autres se plaisaient à visiter l'Égypte et la Babylonie, où florissait l'astronomie, c'était moins pour en rapporter de vaines doctrines théologico-cosmogoniques que pour s'y renseigner sur des choses utiles ou nécessaires, telles que la division du temps ou la confection du calendrier[1].

Cependant tous ces efforts n'aboutirent, comme nous venons de voir, qu'à des tâtonnements infructueux. Aussi faut-il renoncer à l'espoir de fixer chronologiquement, d'une façon irréprochable, les dates des événements les plus importants de l'histoire grecque, antérieurement à l'année 432 avant J. C. Les dates en apparence les plus exactes comportent une erreur d'au moins un mois. Ainsi, la fameuse bataille de Salamine, qui empêcha l'Asie de s'implanter en Europe, fut livrée entre le 20 septembre et le 20 octobre de l'année 480 avant notre ère; mais il est impossible d'en déterminer rigoureusement le jour.

La vraie cause de l'embarras vint, ne l'oublions pas, de l'impossibilité où l'on était de faire concorder la marche des saisons tracée par la nature avec la marche des saisons calculée ou imaginée par l'homme. Des faits ana-

1. Voyez ce qui a été dit plus haut, p. 68, sur le *Saros*, période en usage chez les Babyloniens et les Égyptiens.

logues ne sont pas rares dans l'histoire des sciences; seulement on néglige le plus souvent d'y faire attention. Enfin il fallut se rendre à l'évidence en reconnaissant la suprématie des lois naturelles sur les conceptions humaines. On devrait donc, avant tout et toujours, essayer de comprendre ces lois.

L'année grecque commençait avec la nouménie du solstice d'été, et les saisons étaient fixées, chez les Athéniens, par les noms des mois suivants :

MOIS D'ÉTÉ :	1er mois[1],	*Hécatomvéon*	(Ἑκατομβαιών),	30 jours.
	2e mois,	*Métaghitnion*	(Μεταγειτνιών),	29 jours.
	3e mois,	*Voïdromion*	(Βοηδρομιών)	30 jours.
MOIS D'AUTOMNE :	1er mois,	*Pyanipsion*	(Πυανηψιών),	29 jours.
	2e mois,	*Mémactirion*	(Μαιμακτηριών),	30 jours.
	3e mois,	*Posidéon*	(Ποσειδεών),	29 jours.
MOIS D'HIVER :	1er mois,	*Gamilion*	(Γαμηλιών),	30 jours.
	2e mois,	*Anthestirion*	(Ανθεστηριών),	29 jours.
	3e mois,	*Elaphivolion*	(Ελαφηβολιών),	30 jours.
MOIS DE PRINTEMPS :	1er mois,	*Mounychion*	(Μουνυχιών),	29 jours.
	2e mois,	*Tharghilion*	(Θαργηλιών),	30 jours.
	3e mois,	*Skirophorion*	(Σκιροφοριών),	29 jours.

Ces mois rappelaient, par leurs noms, quelque coutume ou quelque événement mémorable. Ainsi, le premier jour de l'an était inauguré par le sacrifice d'une hécatombe, d'où le nom d'*Hécatomvéon*, donné au premier mois (du 16 juillet au 16 août). — Le *Metaghitnion* (comprenant la dernière moitié d'août et la première moitié de septembre), était le mois des déménagements (de μετὰ et γείτων, comme qui dirait *changement de voisinage*). — Le *Voïdromion* (deuxième moitié de septembre et première moitié d'octobre) était ainsi appelé parce qu'on célébrait alors les Voïdromies, en souvenir de la victoire de Thésée sur les Amazones. — Le *Pyanipsion* (octobre-novembre) ramenait la fête d'Apollon, pendant laquelle on ne mangeait que des fèves cuites (de πύανος, fève, et ἕψω, je fais

1. Le premier jour de ce mois, correspondant au 16 juillet de notre calendrier, était le commencement de l'année des Grecs.

cuire). — Le *Mémactirion* (novembre-décembre) ramenait les Mémactéries, fêtes célébrées en honneur de Jupiter Mémactère (Dieu des tempêtes). — Dans le *Posidéon* (décembre-janvier) se célébrait la fête de Neptune. — Dans le *Gamiléon* (janvier-février), on avait la coutume de contracter des mariages (*gamèlon*, de γαμέω, j'épouse). — Le troisième jour de l'*Anthestirion* (février-mars) était marqué par une grande fête en honneur des divinités infernales (époque du réveil de la nature). — L'*Élaphivolion* (mars-avril) était cher aux amateurs de la chasse à courre (ἐλαφηβολία signifie chasse aux cerfs). — Le *Mounychion* (avril-mai) rappelait par son nom la fête de Diane Mounychie. — Dans le *Tharghilion* (mai-juin) avaient lieu les Thergalies, fêtes célébrées en honneur d'Apollon et de Diane. Enfin le *Skirophorion* ramenait les Skirophories, fêtes célébrées en honneur de Minerve.

Mais, par suite du défectueux calcul humain, tous ces mois avec leurs saisons correspondantes étaient fatalement condamnés à se promener sur toutes les périodes de l'année. Il devint donc de plus en plus urgent de remédier à un pareil désordre. S'il n'y avait eu que les chasseurs et les déménageurs pour se plaindre, on s'en serait facilement consolé. Mais quel scandale pour les dévots qui avaient fait mourir Socrate, accusé par eux d'impiété, et qui en auraient fait autant d'Anaxagore s'il ne s'était pas soustrait par la fuite à l'intolérance du fanatisme religieux ! Quel scandale, en effet, pour les Athéniens de voir le mois du dieu des tempêtes arriver en plein été, de célébrer le mois de l'hécatombe en plein hiver, etc. !

Ces comiques embarras, — graves questions pour les dévots de tous les pays et de tous les temps, — devaient exercer la verve d'Aristophane. On lit, en effet, dans les *Nuées*, les paroles suivantes mises dans la bouche d'une partie du Chœur (à la fin de la 5e scène du 1er acte) :

« En venant ici, nous avons rencontré Diane (la Lune), qui nous a

d'abord chargés de saluer de sa part les Athéniens et leurs alliés; puis elle nous a dit qu'elle était fort en colère des injures qu'elle reçoit tous les jours, malgré les faveurs dont elle vous comble. Premièrement, elle vous épargne tous les mois plus d'une douzaine de flambeaux; car le soir en sortant chacun dit à son serviteur : N'achète pas de flambeau, il y aura clair de lune. La déesse ajouta qu'elle vous octroie encore mille autres biens ; mais que vous êtes des ingrats : elle se plaignait de ce que vous n'observez point du tout ses jours de fête, et de ce que vous les laissez aller confusément. Ce désordre jette la pauvre déesse dans une perplexité que vous ne sauriez vous imaginer; car toutes les fois que les dieux se croient trompés, et que vous ne leur donnez ni les fêtes, ni les sacrifices qu'ils attendaient, selon l'ordre du calendrier, ils s'emportent avec un bruit épouvantable ; ils ne sont pas plutôt de retour au ciel, qu'ils la querellent et menacent de la chasser. C'est aussi une chose réellement abominable : les jours où vous devriez faire des sacrifices, vous mettez les criminels à la question, et vous vous amusez à rendre la justice. Et pendant que, nous autres dieux, nous célébrons des jeûnes, et que nous pleurons la mort de Memnon ou de Sarpédon, c'est justement ces jours-là que vous vous réjouissez, que vous faites vos libations et vos banquets. »

Cette confusion burlesque n'était, hélas ! que trop vraie. Elle allait en augmentant jusqu'au moment où Méton trouva le cycle ou la période qui porte son nom.

Méton. — Cycle de Méton.

Vivant dans la seconde moitié du cinquième siècle avant J. C., Méton, fils de Pausanias, géomètre athénien, est le même que celui dont s'était moqué Aristophane pour la recherche de la quadrature du cercle. Son nom ne doit pas être séparé de ceux de Phaénius et d'Euctémon, deux autres géomètres, qui l'aidèrent dans son entreprise de réforme.

Le cycle ou *année de Méton* était une *ennéadécaétéride*, c'est-à-dire une période de dix-neuf années lunaires (plus exactement de 18 ans et 8 mois), dont douze étaient de 12 lunaisons, et les sept autres de 13 lunaisons, ce qui faisait

un total de 235 lunaisons de 29 j $\frac{1}{2}$ chacune ; les années intercalaires étaient les 3e, 6e, 8e, 11e, 14e, 17e, 19e. Après dix-neuf ans révolus, les mêmes phases de la Lune devaient revenir aux mêmes jours de l'année, aux jours de même dénomination. Il suffisait donc d'avoir noté ces dates pendant dix-neuf ans, pour les connaître à l'avance, dans toutes les périodes suivantes de même étendue.

A l'annonce de cette invention, les Grecs firent éclater un tel enthousiasme, que les archontes décrétèrent que le cycle de Méton fût inscrit en lettres d'or sur des *Tablettes* (παραπήγματα) attachées aux monuments publics. C'est de là qu'on fait venir le nom de *Nombre d'or*, donné aux dix-neuf années du cycle de Méton. On l'emploie encore aujourd'hui sous ce nom dans le comput ecclésiastique, pour la fixation de la fête de Pâques.

Suivant Diodore, Méton fit commencer son cycle le treizième jour du mois Skirophorion, dans la quatrième année de la 86e Olympiade, date qui correspond au 28 juin (en faisant commencer le Skirophorion au 15 juin) de l'année 433 avant notre ère. Rectifiant Diodore, Montucla montre que le cycle d'or fut établi le 16 juillet (de l'année 433), le dix-neuvième jour après le solstice d'été. « La Nouvelle Lune qui arriva, dit-il, ce jour à 7 heures 43 minutes du soir, en fut le commencement, le premier jour du cycle étant compté du coucher du Soleil, arrivé la veille. Méton choisit à dessein cette Nouvelle Lune, quoique plus éloignée du solstice que la précédente, afin de n'être pas obligé d'intercaler dès la première année. Car l'année grecque était telle, que la Pleine Lune de son premier mois devait être postérieure au solstice, à cause des jeux Olympiques, dont la célébration était fixée au milieu de ce premier mois après le solstice d'été[1]. »

Quoi qu'il en soit, la période métonienne, déjà con-

1. Montucla, *Histoire des Mathématiques*, t. I, p. 160.

nue des Chaldéens[1], n'est elle-même qu'une approximation. Les nouvelles lunes ne reviennent pas, comme l'avait cru Méton, exactement à la même heure tous les dix-neuf ans ; la différence dont le mouvement de la Lune anticipe sur celui du Soleil est d'*environ une heure et demie*, ce qui forme à peu près un jour au bout de 304 ans. C'est ce défaut de concordance qui, dans le comput ecclésiastique, a fait ajouter au nombre d'or d'autres nombres, appelés *Epactes*, c'est-à-dire complémentaires, pour trouver avec plus de précision l'âge de la Lune.

Calippe

En moins de deux ans après la découverte de Méton, on s'aperçut déjà qu'il y avait une correction à faire au cycle métonien. Les Athéniens en chargèrent Calippe de Cyzique. Cet astronome, ami d'Aristote, avait déjà fait, dans sa patrie, des observations nombreuses, qui ont été reproduites par Geminus et par Ptolémée dans leurs calendriers. Ces observations, affichées sur les places publiques, indiquaient le lever et le coucher des astres (calendrier des agriculteurs dont parle Hésiode), ainsi que les *pronostics* (ἐπισημασίαι) des changements de temps, changements qu'on croyait déterminés par le mouvement des astres.

Calippe avait remarqué que la différence qui existe entre l'année du cycle de Méton (année de 365 j. et $\frac{5}{19}$) et l'année égyptienne (de 365 j. et $\frac{1}{4}$), réputée plus exacte, était de $\frac{1}{76}$. Il proposa, en conséquence, de quadrupler le cycle de Méton, de manière à former une période de 76 ans, au bout de laquelle on devait retrancher l'excédant d'un jour. Cette période, qui était encore loin de

1. Voyez plus haut, p. 70.

résoudre le problème de la concordance des mouvements de la Lune avec ceux du Soleil pour les usages du calendrier, reçut le nom de *cycle calippique*. Presque tous les astronomes grecs l'adoptèrent, particulièrement pour rectifier par là le cycle de Méton. Ptolémée, qui s'en servait, cite une observation faite pendant le solstice d'été à la fin de la 50ᵉ année de la 1ʳᵉ période calippique. D'autres indications du même auteur, rapprochées et comparées par Ideler, ont permis de fixer le commencement du cycle calippique au 28 juin (330 avant J. C.)[1]. On ignore à quelle époque il devint d'un usage public.

Le défaut du cycle calippique n'échappa point à la sagacité d'Hipparque. Ce grand astronome, dont nous parlerons plus loin, avait appris, par ses propres observations, que l'année solaire et l'année lunaire étaient un peu moindres que Calippe ne les avait supposées. D'après ses calculs, assez exacts à l'égard de la Lune, mais encore un peu fautifs en ce qui concernait le Soleil, Hipparque avait trouvé que l'anticipation de l'un sur l'autre était d'un jour en quatre périodes calippiques. Il quadrupla par conséquent le cycle de Calippe, et il en retrancha ce jour qu'il avait trouvé de trop. Dans cette période de 304 ans ($304 = 76 \times 4$), la Lune ne retardait que d'une demi-heure, et elle n'anticipait sur le Soleil que d'un jour et un quart, ce qui était une erreur seulement égale à celle de Calippe dans un espace de temps double. Mais le cycle d'Hipparque, bien qu'il fût plus exact que toutes les périodes inventées jusqu'alors, ne fut pas adopté. Par suite de cet esprit de routine qui semble aveugler toutes les nations, les Grecs préféraient s'en tenir aux cycles de Méton et de Calippe.

1. Ideler, *Recherches historiques sur les observations astronomiques des anciens* (en allemand); Berlin, 1800.

CHAPITRE VI.

ÉCOLE ACADÉMIQUE.

Platon.

Quand Platon vint au monde, dans la troisième année de la 87e Olympiade (424 avant J. C.), la Grèce ou plutôt l'Attique, ce tout petit coin du globe qui est le berceau de notre civilisation, était déjà parvenue à l'apogée de sa splendeur. Phidias, Praxitèle, Euripide, Sophocle, Aristophane, Ménandre, Xénophon, Thucydide, etc., ces génies immortels que la plastique aussi bien que la forme littéraire a depuis lors constamment proposés pour modèles, étaient tous contemporains de Platon. Élève de Socrate, condisciple d'Alcibiade, Platon avait pu, dans sa jeunesse, admirer le grand homme d'État, ce foudre d'éloquence, Périclès. Enfin, si l'on demandait à un ami du beau et du vrai, à quelle époque de l'histoire il voudrait avoir vécu, il répondrait sans hésiter : *Au siècle de Platon.*

La poésie eut d'abord pour Platon un irrésistible attrait. Fort jeune encore il ne craignit pas d'entrer en lice avec les poëtes les plus renommés de son temps. Il allait se livrer avec toute l'ardeur de son âge au genre lyrique, quand il fit, à vingt ans, la connaissance de Socrate. Dès lors il se consacra tout entier au culte de la philosophie.

Cependant il avait déjà fréquenté l'école des sophistes et abordé, sous les auspices de Cratyle, les doctrines d'Héraclite. Mais ces doctrines ne pouvaient guère convenir à un esprit qui cherchait, avant tout, la fixité de la science dans les fluctuations du doute. Les idées des Ioniens et les systèmes des Éléates ne le satisfaisaient pas davantage. A la mort de Socrate, dont il adopta et élargit le plan d'études, il quitta Athènes, et se rendit d'abord à Mégare, auprès d'Euclide qui fonda l'école mégarienne. Il quitta même la Grèce pour visiter l'Italie. Les doctrines de Pythagore attiraient alors particulièrement son attention, et il nous montre, dans plusieurs de ses Dialogues, qu'il avait suivi avec fruit les leçons des Pythagoriciens, tels que Timée et Archytas. De l'Italie Platon passa en Afrique; il entendit à Cyrène le philosophe Théodore, disciple de Protagoras. Vraisemblablement il visita aussi l'Egypte, et suivant quelques Pères de l'Église, il alla même en Perse pour s'aboucher avec les Mages, bien qu'il n'en fasse lui-même aucune mention. Après dix ans d'absence, il revint (vers 390 avant J. C.) dans sa patrie; mais il n'y resta pas longtemps : il fit un second voyage dans l'Italie inférieure, d'où il passa en Sicile. Là il fut présenté par Dion, son ami et disciple, à Denys l'Ancien, souverain de Syracuse. Ce prince l'accueillit d'abord magnifiquement. Mais Platon ne tarda pas à perdre les bonnes grâces du tyran dont il avait blâmé les excès, et sans l'intervention de Dion il eût été mis à mort. Il fut alors privé de sa liberté et vendu comme esclave à un Lacédémonien, homme inculte, qui le conduisit à Égine. Là il fut racheté par Dion, ou, suivant d'autres, par Annicéris de Cyrène, qui était venu assister aux jeux de la 98e Olympiade.

En 388 avant J. C., on retrouve Platon à Athènes. C'est à cette époque qu'il faut faire remonter la fondation de l'*Académie*, école célèbre, où se réunissaient de nombreux disciples, auxquels le maître demandait comme

initiation à la philosophie la connaissance des mathématiques. Après vingt ans d'enseignement, Platon fit un second voyage en Sicile, où il faillit tomber victime de Denys le Jeune, et revint mourir à Athènes à l'âge de quatre-vingt-un ans.

Le philosophe, tel que le comprenaient Socrate et Platon, devait avoir pour préoccupation constante de prendre le plus grand soin de l'âme, moins pour cette vie, qui n'est qu'un instant, qu'en vue de l'éternité. Cette insouciance de l'homme à côté de ce qui devrait l'intéresser le plus au monde, c'est là ce qui épouvantait tant Pascal, philosophe géomètre comme Platon.

Les idées astronomiques de Platon se trouvent disséminées principalement dans le *Timée*, dans la *République* et dans l'*Epinomis*. Elles sont assez confuses et se rapprochent, sous certains rapports, des idées pythagoriciennes. Constamment préoccupé de la recherche de la pensée créatrice au milieu de la variété infinie des phénomènes, Platon présentait tous les corps, terrestres et célestes, comme participant à l'âme du monde; les astres étaient, d'après lui, des êtres animés; le monde lui-même n'était qu'un animal, et la forme sphérique était le type de la perfection. « Dieu donna, dit-il, au monde la forme la plus convenable et la plus appropriée à sa nature; or la forme la plus convenable à l'animal, qui devait contenir en lui tous les autres animaux, ne pouvait être que celle qui comprend toutes les formes. C'est pourquoi il donna au monde la forme sphérique, ayant partout les points extrêmes également distants du centre, ce qui est la forme la plus parfaite. Il polit toute la surface de ce globe animé, et cela pour plusieurs raisons. D'abord ce monde (animal) n'avait besoin ni d'yeux, ni d'oreilles, parce qu'il ne restait, en dehors de lui, rien à voir, ni rien à entendre; il n'y avait pas non plus autour de lui d'air à respirer; il n'avait besoin d'aucun organe pour la nutrition, ni pour rejeter les aliments digérés, car il n'avait rien à rejeter,

ni rien à absorber. Non. Il est fait pour se nourrir de ses propres forces, et toutes ses actions, toutes ses affections lui viennent de lui-même et s'y renferment; car l'auteur du monde estima qu'il vaudrait mieux que son ouvrage se suffît à lui-même que d'avoir besoin de secours étranger. Par la même raison, il ne jugea pas nécessaire de lui faire des mains, parce qu'il n'avait rien à saisir, ni rien à repousser, et il ne lui fit pas non plus de pieds, ni rien de ce qu'il faut pour la marche. Mais il lui donna un mouvement approprié à la forme de son corps et qui, entre les mouvements, appartient principalement à l'esprit et à l'intelligence. Faisant tourner le monde constamment sur lui-même, il lui ôta les sept autres mouvements, ne voulant pas qu'il fût errant à son gré; le monde enfin, n'ayant pas besoin de pieds pour exécuter ce mouvement de rotation, il le fit sans pieds et sans jambes. » (Le *Timée.*)

Il s'agit là évidemment du mouvement général diurne, de ce que les anciens appelaient *la rotation de la sphère droite*, donnant le jour et la nuit. Ils regardaient ce mouvement comme exclusivement propre aux étoiles ou à la sphère des fixes. Ils n'ignoraient cependant pas que les planètes elles-mêmes y participent; mais, comme les astres errants ont des mouvements propres beaucoup plus lents, les philosophes, qui étaient en même temps astronomes, physiciens et géomètres, s'engageaient à cet égard dans des considérations systématiques où le vrai le disputait au faux. Ainsi les étoiles (fixes), conservant invariablement entre elles les mêmes distances respectives, sont, d'après Platon, chargées du mouvement de rotation de la sphère du monde. Et par là il faut entendre, non pas évidemment la rotation de chaque étoile autour de son axe, mais le mouvement diurne, identifié avec le mouvement général de l'âme du monde.

Platon ne s'accorde pas ici avec les idées pythagoriciennes, proposées pour expliquer le mouvement général,

diurne, de la sphère céleste par la rotation de la Terre autour d'elle-même. C'est ce mouvement qu'il désigne par rotation *dans un même lieu*, ἐν ταὐτῷ τόπῳ, c'est-à-dire *sans changement de lieu*, οὐ μεταβατικῶς. Quant à la Terre, il la supposait complétement immobile. « Dieu, dit-il, a formé la Terre, notre nourrice, pour être la gardienne et la productrice du jour et de la nuit. »

Mais, si la Terre est supposée immobile, comment pourra-t-elle produire la nuit et le jour? La réponse à cette question a été d'autant plus difficile que Platon s'est servi du mot ἴλλεσθαι ou εἴλλεσθαι, que les plus anciens commentateurs, à commencer par Aristote, ont pris dans le sens de κινεῖσθαι, *se mouvoir*. Or, si la Terre se meut autour d'elle-même, il faudra supprimer le mouvement de rotation de la sphère du monde, devenu inutile, à moins qu'on ne veuille admettre que la Terre se meut concurremment avec la sphère du monde; mais alors comment se produiront la nuit et le jour? Pour trancher la difficulté, quelques interprètes, tels que Proclus, Plutarque, Simplicius, etc., ont donné au verbe employé le sens de *se serrer*, se retenir, d'où chez Homère, le mot ἰλλάδες, *chaînes*. Platon aura donc voulu dire (dans le *Timée*) que « la Terre *se serre fortement autour de l'axe qui traverse l'univers* (εἱλλομένην περὶ τὸν διὰ παντὸς πόλον τεταμένον). » Cette interprétation, adoptée par M. Th. H. Martin[1], sauve l'immobilité de la Terre, qui produirait le jour et la nuit par sa résistance même au mouvement. Plutarque compare ici la Terre à l'aiguille (immobile) du cadran solaire; c'est son repos qui donne, dit-il, aux astres le lever et le coucher[2].

Cependant, au rapport de Théophraste, cité par Plutarque, Platon, dans sa vieillesse, aurait changé d'opinion[3]

1. *Études sur le Timée de Platon*, t. II, p. 90.
2. Plutarque, *Quæstiones Platonicæ*, VIII, 3. — *De facie in orbe Lunæ*, c. 25.
3. *Vie de Numa*, c. 11. Voyez aussi Plotin, *Ennéades*, II, 2, 1.

relativement à la Terre, supposée immobile au centre du monde. Si le fait est vrai, Platon devait être alors presque parvenu à l'extrême limite de sa vie, puisqu'il était déjà vieux quand il composa le *Timée*.

Les cercles que les planètes décrivent par leurs mouvements propres, sont, suivant Platon, tels, que, le cercle de la Lune étant 1, celui du Soleil serait 2, celui de Vénus 3, celui de Mercure 4, celui de Mars 8, celui de Jupiter 9, et celui de Saturne 27. Ces cercles, dont la Terre occuperait le centre commun, suivent, comme on voit, deux progressions distinctes : celle de la Lune, du Soleil, de Mercure et de Mars, représentée par 1, 2, 4, 8, et celle de Vénus, de Jupiter et de Saturne, exprimée par 3, 9, 27.

Dans la *République*, Platon donne les cercles célestes, y compris celui des fixes, comme appartenant à l'immense fuseau des Parques, et il leur attribue les couleurs des astres qui les parcourent. Le premier cercle, celui des fixes, est, dit-il, *scintillant*, ποίκιλον ; le second, celui de Saturne, et le cinquième, celui de Mercure, sont plus jaunes que ceux du Soleil et de la Lune ; le sixième, celui de Vénus, est moins blanc que celui de Saturne ; le troisième, celui de Jupiter, est le plus blanc de tous, et le huitième, celui de la Lune, emprunte au précédent sa lumière et sa couleur [1].

Les mouvements propres des planètes, obliques sur l'équateur de la sphère du monde, décrivent, dans l'espace, les tours d'une *spirale*, ἕλιξ, que Cicéron, interprétant Platon, a très-bien rendu par *helicis inflexione*.

Ce que Platon a dit des mouvements particuliers de Mercure et de Vénus est peu clair, à moins qu'il n'ait voul dire tout simplement que Mercure et Vénus suivent tantô une direction opposée à celle du Soleil, et tantôt se dirigent dans le même sens que l'astre du jour.

Qu'est-ce que Platon appelait la grande année ou l'*an-*

1. V. Th. H. Martin, *Études sur le Timée*, t. II, p. 65.

née parfaite, τὸν τέλειον ἐνιαυτὸν? L'examen de cette question nous intéresse surtout, parce qu'il nous montre l'état des connaissances d'alors relativement à la durée des ré volutions des différentes planètes. La durée de la révolution lunaire, qui forme le mois, et la durée de la révolution solaire, qui compose l'année, ont été, comme nous l'avons vu, depuis la plus haute antiquité un objet d'études constantes ; et cela se conçoit, puisque la Lune et le Soleil sont, pour ainsi dire, les aiguilles de la grande horloge du monde, indiquant à tous les mortels la nécessité de compter exactement avec le temps. Les durées des révolutions de Mercure et de Vénus étaient estimées à peu près égales à une année, probablement parce que ces planètes sont les plus voisines du Soleil. Quant aux autres planètes, la durée de leurs révolutions était encore inconnue à l'époque de Platon, à en juger par les paroles mêmes du grand philosophe. « Comme les hommes, à l'exception d'un petit nombre, n'ont pas, dit-il, observé les révolutions des autres planètes (Mars, Jupiter et Saturne), ils ne leur assignent ni noms, ni rapports numériques, de sorte qu'ils ne se doutent point, pour ainsi dire, de la durée de leurs mouvements révolutifs, d'une grandeur et d'une variété prodigieuses. » Puis il ajoute qu'il n'est cependant pas impossible de concevoir qu'après une certaine période toutes les planètes se retrouvent ensemble à leur premier point de départ.

C'est cette période qui se nommait la *grande année platonique*. Bien des opinions ont été émises sur sa longueur. Suivant un passage de l'*Hortensius* de Cicéron, conservé par Servius dans son *Commentaire sur l'Énéide* (III, 284), elle serait de 12954 années solaires. Macrobe, dans son *Commentaire sur le Songe de Scipion*, lui assigne une durée de 15000 ans[1].

La grande année platonique ferait-elle allusion à une

1. Th. H. Martin, *Études sur le Timée*, t. II, p. 78.

vague connaissance de la précession des équinoxes, qui fait exécuter à la voûte céleste un mouvement de rotation en 25 000 ans environ?

Eudoxe de Cnide.

Disciple de Platon, Eudoxe fut à la fois astronome, géomètre, médecin et législateur. Ses amis se cotisèrent pour lui fournir le moyen d'aller compléter ses études en Égypte. Agésilas, roi de Lacédémone, lui remit une lettre de recommandation pour Nectanabis, roi d'Égypte. Comme il s'agit ici de Nectanabis II, qui dut son trône à l'intervention puissante d'Agésilas, et qui régna de 361 (date de la mort d'Agésilas) à 356 avant Jésus-Christ, le voyage d'Eudoxe ne pouvait avoir lieu que dans la même année 361. Nectanabis fut le dernier prince indigène de l'Égypte. Entouré de soldats grecs, il se montrait, en toutes occasions, favorable à la civilisation hellénique. Il reçut donc à sa cour et recommanda aux prêtres d'Héliopolis le protégé d'Agésilas. Eudoxe y passa, suivant Strabon, treize ans, portant la barbe et les cheveux ras, pour se conformer à la coutume égyptienne. De retour dans son pays, il fût comblé d'honneurs et mourut à l'âge de cinquante ans. Les prêtres égyptiens lui avaient prédit qu'il deviendrait fort célèbre, mais qu'il ne vivrait pas longtemps; ils avaient fondé cette double prédiction sur ce que, pendant son séjour à Héliopolis, il vit un jour son manteau léché par le bœuf Apis.

Eudoxe rapporta de son voyage une connaissance plus exacte de la révolution lunaire, et la période nommée *tétraétéride*. La révolution lunaire était, suivant lui, de 29 j. 12 h. $\frac{8}{11}$, ou de 29 j. 12 h. 43^m 38^s; et la *tétraétéride*, période de quatre ans, chacun de 365 $\frac{1}{4}$ j., devait, avec un jour intercalaire, ramener aux mêmes jours les intem-

péries des saisons, supposées sous la dépendance du Soleil. C'était la période des années bissextiles du calendrier julien.

Au rapport d'Archimède (dans l'*Arénaire*), Eudoxe estimait, on ignore d'après quelle méthode, le diamètre réel du Soleil seulement neuf fois plus grand que celui de la Lune. Malgré son extrême défectuosité, cette estimation montre qu'Eudoxe plaçait ces deux astres à des distances très-inégales, bien que leurs diamètres apparents soient sensiblement égaux. Le plus éloigné devait donc être le plus grand. Connaissant la cause des éclipses de Soleil, il savait, par cela même, que cet astre est plus éloigné de nous que la Lune. C'était un premier pas de fait. Mais que de chemin il restait encore à faire pour approcher de la vérité !

On ne saurait s'imaginer combien la conception des différentes sphères auxquelles devaient être attachés les astres errants retarda la marche de la science. Eudoxe vint ajouter encore à la complication des cieux solides. Ainsi, il donnait trois sphères au Soleil : la première, tournant de l'orient à l'occident autour des pôles du monde, devait exécuter, en 24 heures, son mouvement révolutif ; la seconde, tournant de l'occident à l'orient autour de l'écliptique en 365 $\frac{1}{4}$ j., devait rendre compte du mouvement annuel ; la troisième devait expliquer un certain mouvement très-lent, obscurément indiqué, qui semble se rapprocher de la précession des équinoxes. Il donnait à la Lune également trois sphères, dont la première servait à faire comprendre son mouvement diurne, et les deux autres ses mouvements en longitude et en latitude. Les planètes devaient avoir chacune une sphère de plus que le Soleil et la Lune ; cette quatrième sphère avait pour objet d'expliquer les stations et les rétrogradations des planètes situées en dehors des cercles de Mercure et de Vénus. Toutes ces sphères, au nombre de vingt-six (non compris la sphère des fixes), formaient autant de

cieux particuliers, diversement enchâssés les uns dans les autres. Elles avaient leur racine dans l'esprit ou dans l'imagination même de l'homme, incapable de comprendre qu'un globe matériel puisse se mouvoir, librement suspendu dans l'espace.

Le système d'Eudoxe fut ausitôt accueilli avec enthousiasme dans toute la Grèce, peut-être parce qu'il était plus absurde que les autres. Aristote lui-même l'admira et l'adopta[1].

Cependant les sphères ou cieux solides eurent le sort des épicycles ; après en avoir reconnu l'existence, on en porta successivement le nombre jusqu'à cinquante-six, pour arriver les abandonner toutes, comme indignes de la science, finissant par où l'on aurait dû commencer.

1. Aristote, *Metaphys.*, XII, 8. — Simplicius, *Comment.* 46 du traité d'Aristote *De Cœlo*, II.

CHAPITRE VII

ARISTOTE ET SES DISCIPLES.

Le chef de l'école péripatéticienne (né à Stagire sur le golfe du Strymon en Macédoine, dans la 1re année de la 99e Olympiade, mort en 322 avant J. C., à l'âge de soixante-deux ans) s'acquit une autorité extraordinaire par son génie et ses travaux variés. Mais il appartient moins à l'histoire de l'astronomie qu'à celle des sciences naturelles et de la philosophie proprement dite.

Dans son traité *Du Ciel*, Aristote s'attacha, l'un des premiers, à réfuter la doctrine pythagoricienne du mouvement de rotation de la Terre. Pour lui, l'apparence, c'est la réalité. On voit avec peine un aussi grand philosophe accepter le témoignage des sens comme l'expression de la vérité, tandis que l'expérience vulgaire, journalière, nous montre combien les sens, à l'égal des sentiments, ont besoin d'être contrôlés et rectifiés par la raison.

Au nombre des disciples d'Aristote, auxquels l'étude de l'astronomie n'était pas restée étrangère, nous citerons Théophraste, Eudemus, Dicéarque. Nous y ajouterons comme contemporains, sinon comme disciples d'Aristote, Autolycus et Pythéas. Ce dernier mérite une mention spéciale.

Autolycus est l'auteur de deux ouvrages, dont l'un, *Sur la sphère en mouvement* (Περὶ κινουμένης σφαίρας), et l'autre *Sur le lever et le coucher des astres* (Περὶ ἐπιτολῶν καὶ δυσέων); ils ne nous sont parvenus que fort tronqués. Le premier comprend douze propositions géométriques élémentaires, que pourront facilement trouver tous ceux qui voudront se donner la peine d'observer les mouvements de ce qu'on appelait la *sphère droite* et la *sphère oblique*. Le second ouvrage, qui n'ajoute rien au progrès de l'astronomie, renferme quelques définitions qu'il est bon de connaître.

Ainsi, par exemple, qu'était-ce que le lever et le coucher *cosmiques*, *acronyques* et *héliaques* d'une étoile?

Quand une étoile se lève ou se couche en même temps que le Soleil, cela s'appelait le lever ou le coucher *cosmique*. Il est évident que, dans l'un comme dans l'autre cas, l'étoile est elle-même absolument invisible à cause de l'éclat des rayons du Soleil.

On nommait lever *acronyque* l'instant où l'étoile se lève quand le Soleil se couche, et coucher *acronyque* l'instant où l'étoile se couche quand le Soleil se lève. Pour qu'une étoile fût visible dans de telles conditions, il faudrait non-seulement un horizon exceptionnellement pur, sans trop de lueur crépusculaire, mais il faudrait encore que l'étoile fût de première grandeur.

Quand une étoile apparaît un peu avant le Soleil levant, ou qu'elle est visible quelques instants après le coucher du Soleil, on a ce qui se nommait le *lever* ou le *coucher héliaque*. Ce dernier genre d'observation, facile à faire avec une bonne vue et un horizon libre, constitue le fond de l'astronomie des anciens. C'est sur les levers et les couchers héliaques des étoiles qu'ils réglaient l'ordre des travaux agricoles et les temps propres à la navigation; c'était là l'objet de leurs calendriers.

Pythéas.

Natif de Marseille, colonie phocéenne, Pythéas vivait probablemement vers 350 avant J. C. Il franchit le premier les limites de la région méditerranéenne, où s'était confinée la civilisation grecque. Malheureusement il ne nous reste de son voyage que d'informes fragments. Voici ce qu'il nous est permis d'en conclure.

Pythéas voyagea aux frais de quelques particuliers, probablement dans l'intérêt de leur commerce. Guidé par le conseil de son maître, Eudoxe de Cnide, il commença par prendre la latitude (hauteur du pôle) de Gadira (Cadix), et observa, dans le détroit des Colonnes d'Hercule, le phénomène de la marée. Il doubla le promontoire Sacré (cap Saint-Vincent), atteignit en trois jours le cap Finistère, et en trois autres jours les îles Celtiques, parmi lesquelles il mentionne Uxianca (Ouessant), dans le voisinage des Ostidamniens. Partant de là, il traversa la Manche, et vint aborder à Kantion, où il vit le premier les Bretons. Il en étudia les mœurs : il parle de leurs cabanes, de leurs granges, de leurs récoltes, de leurs boissons et de leur manque de soleil. Après deux journées et demi de navigation, il regagna le continent à l'extrémité de la Celtique, s'arrêta chez les Ostriens à l'embouchure du Rhin, et y observa la hauteur du pôle. Au bout de trois journées et demie, il atteignit le Cattégat et la pointe septentrionale du Jutland. Là il entendit, chez les Cimbres, la légende de la mer Morte (probablement apportée par les navigateurs phéniciens), visita le pays des Goths (Suède), et pénétra jusqu'à l'île d'Ababas, où il vit la tourbe employée comme combustible, et recueillit quelques renseignements sur les îles de la Baltique entourant la Scanie. De là il se rendit, en deux jours, sur la côte (prussienne)

de la Baltique, où l'on pêchait le succin, que les Germains venaient y chercher, se mit en relation avec les Goths de la Vistule, toucha aux îles de Latris (Rügen) et d'Erthu, se procura des renseignements sur le renne, sur l'élan et sur diverses productions des pays septentrionaux, et sortit bientôt de la mer où il s'était engagé, pour se rendre dans l'extrême Nord. Parti des îles Britanniques, il toucha au cap Orcas, visita les Orcades, les îles Shetland, et après deux jours de navigation il parvint jusqu'à l'*ultima Thule*.

Qu'était-ce que *Thulé*, Θουλή? Était-ce, comme le suggèrent Pline et Martianus Capella, une contrée voisine du pôle? Était-ce la côte orientale du Groënland? Était-ce l'Islande? C'est la dernière opinion qu'a adoptée Bessel dans son excellente Notice sur Pythéas [1]. Il se fonde sur des phénomènes astronomiques et physiques, sur la petitesse de l'arc décrit par le Soleil, mais particulièrement sur les éructations aqueuses d'une source intermittente, qui rappelle tout à fait le fameux Geyser de l'Islande [2]. Pythéas parle aussi d'une boisson fermentée, faite avec du miel, dont se servaient les habitants de Thulé. Cette boisson ne pouvait être que l'hydromel, qui est encore aujourd'hui d'un si fréquent usage dans les pays scandinaves. Les Thuléens vivaient « de millet, de racines et de quelques autres légumes. » C'est là encore aujourd'hui la principale nourriture des Islandais.

Mais voici le passage qui a principalement exercé l'esprit des critiques. « A l'île de Thulé, vers le nord et dans toutes ces contrées-là, il n'y a ni terre, ni mer, ni air, mais un mélange des trois, semblable au *poumon de mer* (πνεύμων τῆς θαλάσσης), sur lequel la mer et la terre étaient fixées, et qui servait de lien à toutes les parties

1. W. Bessel, *Ueber Pytheas von Massilien*; Gœttingue, 1858, in-8°.
2. *Et refluo circumsona gurgite Thule*, dit Stace.

du monde, sans qu'il fût possible d'y aller ni à pied, ni sur des navires. »

Quelques-uns se sont emparés de cette citation pour traiter de fabuleux tout le récit de Pythéas. C'était aller trop loin. D'autres se sont plutôt attachés à la détermination de cet étrange être, appelé *poumon de mer ;* mais on ignore encore s'il faut le ranger parmi les animaux, parmi les zoophytes ou parmi les végétaux. Comme Pythéas avoue lui-même qu'il ne connaissait ces choses que par ouï-dire, il est permis de croire que ce mélange chaotique, impénétrable, d'air, de terre et d'eau, était l'image poétique des épais brouillards qui enveloppent ces montagnes de glaces flottantes, les redoutables banquises de la côte orientale du Groënland. Peut-être aussi Pythéas confondait-il cette légende du poumon de mer, avec la mer d'algues (mer de Sargasse), que les Phéniciens devaient avoir certainement rencontrée dans leurs navigations atlantiques, et qui étonna plus tard Christophe Colomb.

Quoi qu'il en soit, rien n'est plus propre à élargir le cercle des idées astronomiques que les voyages lointains. L'aspect du ciel étoilé varie à mesure qu'on s'avance en allant du midi au nord, et *vice versa.* Notons encore que les régions que Pythéas visita, il y a plus de deux mille ans, étaient à la fois jugées inabordables et plongées dans les ténèbres de la barbarie. Ces ténèbres sont dissipées ; les pays que côtoyait le hardi voyageur massilien, tiennent le sceptre de la civilisation, tandis que les contrées (Grèce, Sicile et Italie inférieure), où semblaient alors se concentrer toutes les lumières, sont aujourd'hui occupées par les populations les plus arriérées de l'Europe et presque inabordables par le peu de sécurité qu'elles offrent aux voyageurs, signe infaillible de l'abaissement du niveau de la civilisation.

CHAPITRE VIII.

ÉCOLE D'ALEXANDRIE.

L'ensemble des connaissances humaines, compris sous le nom général de *philosophie*, commençait à se scinder. L'astronomie et les mathématiques se séparèrent les premières de la métaphysique; les sciences naturelles y restèrent plus longtemps unies. Ce divorce devint de plus en plus éclatant depuis l'établissement de l'école d'Alexandrie. C'était là, chose importante à noter, moins une école, ayant un programme ou un chef reconnu, qu'une sorte d'académie de savants libres. Ils étaient venus se fixer à Alexandrie, non pour se grouper sous la bannière d'un chef d'école, mais parce que l'habile lieutenant d'Alexandre, qui était seul parvenu à fonder une forte dynastie, parce que Ptolémée et ses successeurs savaient attirer auprès d'eux, dans la splendide cité, création d'Alexandre le Grand, tous les hommes éminents du monde civilisé. Ces rois d'Égypte, ces pharaons d'origine grecque, descendants d'un soldat heureux, ne redoutaient pas la lumière : ils l'appelaient.

Le Muséum, vaste édifice qui touchait au palais du roi, contenait la plus riche des bibliothèques et un observatoire modèle. C'était là qu'on venait s'instruire aux

leçons d'Aristille, de Timocharis, de Dionysius, d'Aristarque de Samos, d'Ératosthène, d'Hipparque, de Ptolémée, etc.

Aristille. Timocharis. Dionysius.

Aristille et Timocharis ne nous sont connus que par des citations de Ptolémée. Leurs observations, faites à l'observatoire d'Alexandrie, étaient souvent mises à profit par l'auteur de l'*Almageste*. Ils paraissent avoir les premiers déterminé la position des étoiles fixes par rapport au zodiaque, en marquant leurs longitudes et leurs latitudes. Et comme Ptolémée cite en même temps d'Aristille et de Timocharis des déterminations de position d'étoiles fort éloignées du zodiaque, il est permis de conjecturer que ces astronomes conçurent les premiers l'idée d'un véritable *Catalogue d'étoiles*.

Leurs observations, extrêmement précieuses pour l'histoire de l'astronomie, comprennent un intervalle de vingt-six ans, depuis l'an 295 avant notre ère, date de la première observation connue, jusqu'à la treizième année du règne de Ptolémée Philadelphe, c'est-à-dire jusqu'à l'année 269 avant l'ère chrétienne. Les mêmes astronomes ont, en outre, fourni à Ptolémée une grande partie des observations fondamentales de sa théorie des planètes. Le nom d'*anciens observateurs*, qui revient souvent dans l'*Almageste*, paraît s'appliquer spécialement à Aristille et à Timocharis.

Leur contemporain Dionysius, dont la vie est également inconnue, fut l'auteur d'une ère particulière, où les noms des mois étaient empruntés aux signes du zodiaque. Ptolémée rapporte de lui plusieurs observations, déterminées d'après l'*ère de Dionysius*.

Aristarque de Samos.

L'époque à laquelle vivait Aristarque de Samos se trouve fixée par une observation de cet astronome lui-même, rapportée par Ptolémée. C'était une observation de solstice, faite probablement à Alexandrie, dans la cinquantième année de la première période de Calippe (281e année avant J. C.). Si Aristarque avait alors de trente à trente-cinq ans, il serait né vers l'an 305 avant notre ère.

Ce qui donne à cet astronome une haute importance, c'est que le premier il posa en géomètre la question que chacun se faisait depuis longtemps, à savoir : *Quelle est la distance de la Terre au Soleil?*

La méthode qu'employait Aristarque pour résoudre cette grande question, — celle de la parallaxe solaire, — se trouve décrite, quoique assez obscurément, dans un petit traité, qui nous a été conservé sous le titre de : *Des grandeurs et des distances du Soleil et de la Lune* (Περὶ μεγεθῶν καὶ ἀποστημάτων ἡλίου καὶ σελήνης[1]).

Nous ne saurions mieux faire que de traduire textuellement les six énoncés, dont les dix-neuf propositions qui remplissent le reste du traité ne sont en quelque sorte que les applications.

1° « La Lune reçoit sa lumière du Soleil.

2° « La Terre n'est qu'un point, un point central, par rapport à la sphère de la Lune.

3° « A l'instant où la Terre se montre à nous dichotomiquement (par la moitié) ou en quadrature, notre plan de vision coïncide avec le plan du cercle qui sépare la portion obscure de la portion éclairée.

1. Ce traité a été imprimé, en grec et latin, en tête de l'*Histoire de Samos* par M. de F. (Fortia d'Urban); Paris, 1810, in-8°.

4° « A l'instant de la dichotomie ou quadrature, l'angle à la Terre entre le Soleil et la Lune ne diffère de celui d'un *quart de cercle* (τεταρτημόριον), c'est-à-dire d'un angle droit, que de la trentième partie d'un angle droit ou de 3 degrés $= \frac{90°}{30}$; en d'autres termes, l'angle formé à la Terre par les deux lignes qui vont de là au Soleil et à la Lune est de 87° (90° — 3°).

5° « La largeur de l'ombre de la Terre est de deux [demi-diamètres] de la Lune.

6° « La Lune sous-tend la quinzième partie d'un signe du zodiaque. »

La première proposition est incontestable ; mais elle était déjà connue et universellement admise longtemps avant Aristarque.

La seconde proposition implique une erreur. L'angle sous lequel un observateur placé au centre de la Lune verrait le rayon de la Terre serait nul, en d'autres termes, la Lune n'aurait pas de parallaxe, si la Terre n'était vis-à-vis de son satellite qu'un point. Or d'autres astronomes, particulièrement Hipparque, devaient bientôt démontrer que cette parallaxe est, au contraire, très-marquée, puisqu'elle est d'environ un degré.

La troisième proposition est incontestable ; elle atteste, par son exactitude, la sagacité de son auteur.

La quatrième proposition donne le résultat d'un calcul qui ne s'accorde pas tout à fait avec l'observation. Il est vrai que l'angle qui, à l'instant de la quadrature, s'appuie sur la Terre n'est pas tout à fait égal à 90° (angle droit) ; mais il n'est pas non plus de 87°, puisqu'il est en réalité de 89° 50′. Il y a donc une différence de trois degrés moins dix minutes.

Les cinquième et sixième propositions s'écartent aussi de la vérité. La dernière tient probablement à une erreur de copiste : au lieu de *quinzième partie*, il faudrait lire *soixantième partie*. Le diamètre apparent de la Lune se

rapproche, en effet, très-sensiblement de la soixantième partie d'un signe, c'est-à-dire d'un demi-degré.

Quant à la méthode employée par Aristarque pour déterminer la *parallaxe du Soleil*, c'est-à-dire l'angle maximum sous lequel un observateur placé au centre du Soleil verrait de là la Terre, cette méthode consistait à saisir le moment où la Lune est *dichotome* ou en quadrature. Si à ce moment on tire de la Terre T (fig. 3), c'est-à-

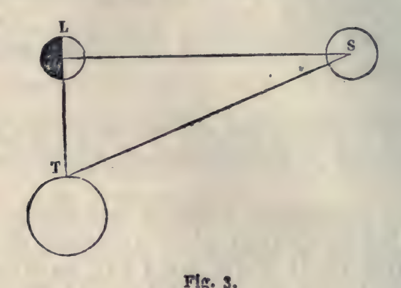


Fig. 3.

dire de l'œil du spectateur, une ligne droite au centre de la Lune L ; qu'on tire de même une seconde ligne droite du centre de la Lune à celui du Soleil S, et une troisième du centre de la Lune à l'œil de l'observateur sur la Terre T, on aura un triangle rectangle TLS dont l'angle droit sera au centre de la Lune, un autre angle, fort approchant du premier, sera à la Terre, et le troisième, très-aigu, au Soleil. Ces données suffisaient à Aristarque pour déterminer dans ce triangle le rapport des côtés, dont l'un est la distance de la Lune à la Terre, tandis que les deux autres expriment les distances de la Terre et de la Lune au Soleil, et pour en déduire combien de fois la distance du Soleil contient celle de la Lune. La distance de la Lune étant évaluée en demi-diamètres (rayons) du globe terrestre, il ne s'agissait plus que d'appliquer la même mesure à la distance du Soleil à la Terre. Ayant

trouvé que l'angle à la Terre n'est pas moindre de 87°, il en concluait que la distance du Soleil à la Terre est plus de dix-huit fois et moins de vingt fois celle de la Terre à la Lune.

De la méthode employée par Aristarque, Delambre a induit avec raison qu'à cette époque les Grecs ne connaissaient ni les tangentes, ni les sécantes, et qu'ils n'avaient pas même de *Tables des cordes.* « Ils ne savaient pas encore, ajoute-t-il, résoudre un triangle rectangle dont ils connaissaient les trois angles et un côté. Ils auraient pu le résoudre graphiquement avec la règle et le compas; il paraît même qu'Aristarque ne s'avisa pas de ce moyen, ou qu'il ne voulut pas s'en contenter.... Ses démonstrations sont pénibles et détournées, mais ingénieuses; elles prouvent beaucoup mieux l'ignorance absolue où l'on était alors de la trigonométrie rectiligne qu'elles ne donnent la distance du Soleil[1]. »

C'est se montrer injuste envers ses prédécesseurs que de les juger à travers le prisme de nos connaissances actuelles. Pour rendre à Aristarque toute la justice qu'il mérite, il faut reconnaître qu'en abordant hardiment la solution d'un des plus grands problèmes de l'astronomie, il étendit le premier le monde bien au delà des limites où l'avaient jusqu'alors renfermé les astronomes et les géomètres, sans en excepter les Pythagoriciens. Sans doute le résultat obtenu était loin d'être exact, puisque la distance du Soleil à la Terre est, en réalité, environ 385 fois, au lieu de 19 fois, la distance de la Terre à la Lune; mais cette inexactitude ne diminue en rien le mérite d'une tentative sans précédent.

Aristarque trouva aussi, par induction, que le diamètre apparent de la Lune est au diamètre apparent du Soleil dans un rapport plus grand que celui de 19 à 60; en sorte que le diamètre de la Lune devait être, selon

1. Delambre, *Histoire de l'Astronomie ancienne,* t. I, p. 76 et 79.

lui, un peu moindre que le tiers de celui du Soleil, ce qui ne s'éloigne pas beaucoup de la vérité. — Il démontra encore qu'une éclipse de Soleil est totale quand l'œil de l'observateur est placé au sommet du cône auquel sont inscrits le Soleil et la Lune, et cela est évident. Les diamètres apparents seront, dans ce cas, égaux, et les diamètres réels en raison inverse des distances.

D'autres ouvrages laissés par Aristarque de Samos ne nous sont pas parvenus. En voici un auquel Archimède fait allusion dans ce passage de l'*Arénaire :* « Tu sais, dit-il, en s'adressant au roi Gélon, que le monde est appelé par la plupart des astronomes une sphère dont le centre est le même que celui de la Terre et dont le rayon est égal à la droite qui joint le centre de la Terre à celui du Soleil [1]. Aristarque de Samos rapporte ces choses en les réfutant dans les *Propositions* qu'il a publiées contre les astronomes. D'après ce qu'affirme Aristarque, le monde serait beaucoup plus grand que nous ne venons de le dire, car il suppose que les étoiles et le Soleil sont immobiles, que la *Terre tourne autour du Soleil comme centre*, et que la grandeur de la sphère des étoiles fixes dont le centre est celui du Soleil est telle, que la circonférence du cercle qu'il suppose décrit par la Terre est à la distance des étoiles fixes, comme le centre de la sphère est à la surface. »

Archimède rejette cette comparaison comme inexacte, parce que le centre d'une sphère, n'ayant aucune grandeur, ne saurait avoir aucun rapport avec la surface de la sphère. Mais il est évident qu'Aristarque voulait par là seulement faire comprendre que l'orbite de la Terre est

1. On voit, d'après ce système, que le Soleil occupait les confins du monde, et que les planètes étaient placées entre la Terre et le Soleil : la Lune était le plus rapproché et le Soleil le plus éloigné des astres errants, ayant leur mouvement propre. D'après ce même système, la sphère des fixes devait contenir la sphère du monde.

infiniment petite par rapport à la distance des étoiles au Soleil, ce qui est parfaitement exact. Aristarque avait-il essayé de déterminer la parallaxe des étoiles fixes? Savait-il que, quand on observe la même étoile à six mois d'intervalle, par exemple en juin et en décembre, il est impossible, malgré l'énorme étendue de la base (le diamètre de l'orbite terrestre), d'obtenir un triangle, parce que les deux lignes tirées de l'observateur à l'étoile sont parallèles, ou plutôt parce qu'elles se confondent en une seule et même ligne? Rien ne s'oppose à l'admettre.

Quoi qu'il en soit, il est hors de doute qu'Aristarque a le premier signalé, en termes explicites, le mouvement annuel, le mouvement de translation de la Terre autour du Soleil, supposé immobile au centre du monde.

Enseignait-il aussi, à l'exemple des Pythagoriciens[1], le mouvement diurne?

Nous le croyons. Notre opinion s'appuie sur un passage de Plutarque, jusqu'ici mal rendu par les interprètes. D'après ce passage, Aristarque, faisant mouvoir la Terre autour du Soleil, soutenait en même temps que *le disque de celle-ci s'ombrait suivant ses inclinaisons* (τὰς ταύτης ἐγκλίσεις σκιάζεσθαι τὸν δίσκον)[2]. De deux choses l'une : ou cette phrase a été tellement tronquée qu'elle ne signifie plus rien[3], ou elle signifie que *la Terre s'ombre et s'éclaire suivant les faces que, à raison de son mouvement, elle présente au Soleil.* Dans ce dernier cas, Aristarque a décrit, en termes aussi laconiques qu'expressifs, la rotation terrestre qui produit le jour et la nuit.

Au reste, une pareille altération du texte de Plutarque

1. Voyez plus haut, p. 107.

2. Plutarque, *de Placit. Philosoph.*, II, 24 (t. IX, p. 529 de l'édit. de Reiske).

3. Ce qui montre combien ce passage a embarrassé les éditeurs, c'est qu'il y en a qui ont substitué au mot γῆν (terre) celui de σελήνην (lune). Reiske approuve cette substitution, qui n'a cependant aucun sens.

se comprend; elle devait être l'œuvre de ces fanatiques qui, de tout temps, confondent la science et la religion. Aristarque de Samos fut accusé d'impiété, comme devait, près de deux mille ans plus tard, l'être Galilée. Il avait été dénoncé par Cléanthe aux orthodoxes de la Grèce païenne comme un violateur de la religion, *parce qu'il faisait mouvoir le foyer du monde*[1] (ὡς κινοῦντα τοῦ κοσμοῦ τὴν ἑστίαν) et que, pour expliquer les phénomènes célestes, *il supposait le ciel en repos* (μένειν τὸν οὐρανὸν ὑποτιθέμενος), pendant que la *Terre circulait par la sphère oblique* (mouvement annuel ou de translation), en même temps *qu'elle tournait autour de son propre axe* (mouvement diurne ou de rotation). Cette affirmation du double mouvement de la Terre est la traduction littérale du texte grec : ἐξελίττεσθαι δὲ κατὰ λοξοῦ κύκλου τὴν γῆν, ἅμα καὶ περὶ τὸν αὐτῆς ἄξονα δινουμένην[2]. Voilà comment, bien longtemps avant Copernic, on expliquait les apparences de la sphère céleste par le double mouvement, révolutif et rotatoire, de la Terre.

Séleucus.

Séleucus, surnommé le *mathématicien*, partagea complétement l'opinion d'Aristarque de Samos relativement au double mouvement de la Terre. Il distinguait sur-

1. Le foyer ou centre du monde, c'était ici le centre de la Terre. Ce motif d'accusation suffirait seul pour montrer qu'Aristarque de Samos faisait mouvoir la Terre.

2. Plutarque, *De facie in orbe Lunæ*, t. IX, p. 650-651, édit. Reiske). — Nous devons signaler ici une erreur évidente, qui s'est glissée dans le texte de l'auteur grec : Au lieu de « Aristarque crut devoir dénoncer Cléanthe de Samos, etc., » il faudra lire, comme nous l'avons fait, « *Cléanthe crut devoir dénoncer Aristarque de Samos*, etc. » Le Cléanthe, dont il est ici question, et qui avait, suivant Diogène de Laerte, écrit *contre Aristarque*, n'était ni astronome, ni géomètre; c'était un philosophe stoïcien, natif d'Assos, ville de la Troade.

tout le *mouvement diurne* du *mouvement annuel*, en désignant le premier par δίνη (rotation), et le second par κίνησις (changement de place).

Le premier il essaya, par un coup de génie, d'expliquer les marées par le mouvement de la Lune, combiné avec le mouvement rotatoire et révolutif de la Terre[1]

Originaire de Babylone, Séleucus paraît avoir été contemporain d'Aristarque de Samos.

Ératosthène.

Astronome, géomètre, grammairien, orateur, poëte, philosophe, Ératosthène, né à Cyrène, en 276 avant J. C., fut un de ces hommes d'élite qui laissent à tout ce qu'ils touchent l'empreinte de leur génie universel. On cite parmi ses maîtres le philosophe Ariston de Chios, le poëte Callimaque et le grammairien Lysanias de Cyrène. Il vivait à Athènes, quand Ptolémée III, surnommé *Evergète* (Bienfaiteur), le fit venir en Égypte et lui confia la direction de la Bibliothèque d'Alexandrie. Ératosthène conserva cette place jusqu'à la fin de sa vie, arrivée vers 196 avant notre ère, sous le règne de Ptolémée Épiphane. Désespéré d'être devenu aveugle, il se laissa, selon Suidas, mourir de faim à l'âge de quatre-vingts ans. Lucien le fait vivre jusqu'à quatre-vingt-deux ans. Ses contemporains l'avaient surnommé, à raison de son savoir, *Pentathlos*, nom qu'on donnait au vainqueur dans les cinq luttes des jeux Olympiques.

1. Plutarque, *De Placitis philosophorum*, III, 17. — Id., *Platonicæ Quæstiones*, t. X, p. 183, édit. de Reiske. — Comp. Th. H. Martin, *Études sur le Timée de Platon*, t. II, p. 127.

Grandeur de la Terre.

Ératosthène a attaché son nom à la première tentative vraiment scientifique qu'on ait faite pour déterminer la *grandeur de la Terre*. Au premier aspect, ce problème paraît au-dessus des forces humaines. Il n'en est donc que plus intéressant de voir comment le philosophe grec a procédé pour le résoudre.

C'était un fait connu qu'à Syène, dans la Haute-Égypte, le jour du solstice d'été, à midi, les objets ne projetaient aucune ombre et qu'un puits notamment, qu'on cite, y était, pendant ce même moment, éclairé jusqu'au fond par l'astre du jour. Que conclure de là? C'est qu'au moment du solstice le Soleil était dans la verticale du lieu, que la ville de Syène était exactement située sous le tropique, enfin que sa distance solstitiale était nulle. La latitude (parallèle terrestre) du lieu, qu'on savait être égale à la quantité dont le pôle est au-dessus de l'horizon, ou à la hauteur du pôle, coïncidait donc ici avec le cercle tropical mesurant l'obliquité de l'écliptique. Ce fut là un premier jalon.

D'autre part, Ératosthène savait qu'à Alexandrie la distance solstitiale, au lieu d'être nulle, est de $\frac{1}{50}$ de la circonférence du méridien [1]. L'arc compris entre les deux parallèles de latitude indiqués, entre Syène et Alexandrie, était donc de $\frac{1}{50}$ de la circonférence du méridien terrestre (longitude). Une fois en possession de cette donnée, il

1. La distance solstitiale était mesurée au moyen d'un gnomon. Quand, à un certain moment de l'année (correspondant à notre 21 juin), le gnomon (stèle ou colonne) ne projetait pas d'ombre dans une localité donnée (comme à Syène), tandis qu'au même moment, dans une autre localité, comme à Alexandrie (plus au nord de Syène), l'ombre avait une étendue mesurable, l'astronome-géomètre trouvait là toutes les données nécessaires à la solution de la question qu'il s'était proposée.

était facile d'avoir les autres dimensions de la Terre, regardée comme une sphère parfaite. Mais pour cela il fallait qu'Alexandrie et Syène fussent situées exactement sous le même méridien. Or il y avait à cet égard une différence marquée entre la position de Syène et celle d'Alexandrie; cette différence était de plus de deux degrés (en longitude). Ératosthène l'ignorait-il? ou, s'il la connaissait, l'avait-il négligée? L'un et l'autre cas sont également admissibles.

Un mot d'abord sur la manière dont on mesurait alors les distances entre deux localités données. Les *bématistes*, littéralement *faiseurs de pas* (de βῆμα, pas), analogues à nos arpenteurs ou géomètres, avaient, sous le règne de Ptolémée, pour fonction de tracer exactement les itinéraires ou la longueur des routes de l'Égypte. Ils avaient ainsi trouvé 5000 stades entre Syène et Alexandrie. Partant de la mesure de cet arc, la circonférence de la Terre devait être égale à 50 fois 5000 stades, soit 250 000 stades. Ces 250 000 stades, divisés par 360 (nombre des degrés du cercle), donnaient 694 $\frac{4}{9}$ stades par degré. Mais au lieu de 250 000, Ératosthène prit 252 000, pour avoir 700 stades par degré, en chiffres ronds. Maintenant, si nous comptons, avec Pline, 625 pieds par stade, il faudra 5 stades pour faire un peu plus de 1000 mètres ou un quart de lieue, ce qui donnera environ 140 kilomètres, ou 35 lieues (de 4 kilom.) pour le degré du méridien, soit environ 12 600 lieues pour la circonférence du globe terrestre. Or cette grandeur dépassait près de quatre fois celle qu'on a trouvée de nos jours. Si, au lieu de 700 stades, Ératosthène n'en avait pris que 550 par degré, cette mesure se serait sensiblement trouvée d'accord avec le résultat moderne.

Si maintenant l'on tient compte de toutes les difficultés du problème, il sera facile de comprendre pourquoi Ératosthène devait se tromper en plus. En mesurant la distance au pas, comme le faisaient les *bématistes*, on négligeait, selon toute apparence, les inégalités du terrain; car aucun té-

moignage ne nous apprend que les *bématistes* eussent fait entrer en ligne de compte les sinuosités et les anfractuosités d'environ 600 kilomètres ou de 150 lieues de l'espace qui séparait Syène d'Alexandrie. La longueur itinéraire de 5000 stades ne pouvait donc être qu'une approximation. Puis l'espace où les ombres étaient nulles à Syène devait s'étendre circulairement dans un rayon de 5000 mètres ; l'arc de cercle, évalué à $\frac{1}{50}$ de la circonférence, ne pouvait donc être exact qu'à deux minutes près. Enfin, on n'avait probablement tenu aucun compte de la différence de longitude, assez notable, qui existe entre Syène et Alexandrie.

Ératosthène ne devait d'ailleurs lui-même ne se faire aucune illusion sur l'incertitude de son calcul. Aussi croyons-nous avec Delambre que ce calcul était d'un homme de génie qui voit clairement ce qu'il faudrait faire pour obtenir avec précision la grandeur de la Terre. L'évaluation donnée par le célèbre philosophe grec n'a donc de l'importance que comme indice d'une méthode à suivre et qui a été, en effet, suivie avec succès, après avoir acquis tous les perfectionnements nécessaires.

Grandeur du Soleil et sa distance à la Terre.

Macrobe cite d'Ératosthène un traité *De Dimensionibus* où il est dit « que la mesure (diamètre) de la Terre, multipliée par vingt-sept, donnerait celle du Soleil. » Mais il s'empresse d'ajouter immédiatement que Posidonius trouvait cette mesure beaucoup trop faible, « qu'il faudrait multiplier la mesure de la Terre un bien grand nombre de fois pour avoir le volume du Soleil (*Posidonius dicit multo multoque sæpius multiplicatam solis spatium efficere*)[1]. Posidonius avait parfaitement raison de critiquer

1. Macrobe, *Commentarius in Somnium Scipionis*, I, 20.

l'évaluation d'Ératosthène. Mais il ne se borna pas à une simple critique; il porta lui-même, au rapport de Cléomède, le diamètre du Soleil à 10300 fois celui de la Terre. C'était pécher en sens contraire : le diamètre du Soleil n'est que 112 fois environ celui de la Terre.

Suivant Plutarque, Ératosthène plaçait le Soleil à 804 millions de stades de la Terre. Or, si 5 stades font, comme nous l'avons montré plus haut, environ 1 kilomètre, nous aurons 160800000 kilomètres, ou environ 40 millions de lieues pour la distance de la Terre au Soleil; et ce résultat, chose digne de remarque, s'accorde, à 2 ou 3 millions de lieues près, avec les résultats les plus modernes.

Obliquité de l'écliptique.

Ératosthène fut aussi le premier à déterminer l'*obliquité de l'écliptique* avec une exactitude assez grande pour que Hipparque et Ptolémée aient constamment employé la valeur donnée par lui. Par quel procédé y parvint-il? Nous ne pouvons à cet égard émettre que des conjectures. Probablement il se mit d'abord à calculer la largeur de la zone tropicale, c'est-à-dire l'intervalle compris entre les tropiques, entre le solstice d'été et le solstice d'hiver. A cet effet fit-il usage des armilles qu'il tenait de la munificence du roi Ptolémée Évergète? On l'ignore; on sait seulement qu'elles servaient plus tard à Hipparque pour observer le lent déplacement de la voûte étoilée qui amena la découverte de la précession des équinoxes. D'après ce qu'il est permis de conjecturer, les armilles conservées au Serapeum consistaient en deux cercles de laiton fixes et probablement en un cercle mobile; l'un des cercles fixes était placé dans le plan de l'équateur et l'autre dans le plan du méridien. Elles pouvaient, selon Flamsteed, s'appuyant d'un passage de Proclus, avoir trois pieds (environ

un mètre) de diamètre et servir à des observations exactes de cinq à dix minutes près, car elles n'étaient divisées qu'en sixièmes de degré, c'est-à-dire que les intervalles des plus petites divisions étaient de dix minutes[1].

La plus ancienne observation astronomique connue, faite avec les armilles du Serapeum, date de la vingt-neuvième année du règne de Ptolémée Ier, surnommé le *Sauveur* (an 294 avant J. C.); elle avait pour objet la déclinaison de l'Épi de la Vierge, étoile zodiacale de première grandeur. A l'exemple d'Hipparque, Ptolémée en fit également usage pour observer les instants des équinoxes depuis l'an 132 jusqu'à l'an 147 de J. C. Mais, au lieu de donner les dimensions de ces armilles, il se borne à nous apprendre que la plus ancienne était aussi la plus grande, et il n'est pas éloigné de croire qu'elle a pu, à la longue, se fausser ou dévier de la position qu'on lui avait donnée. Il les trouva néanmoins exactement placées dans le plan de l'équateur, ce qui supposait une méridienne bien tracée. Quant à l'équateur, il n'avait pu être déterminé que par les ombres solstitiales du gnomon, car on ne connaissait, avant les armilles, aucun autre instrument astronomique.

Ce fut très-probablement au moyen du gnomon qu'Eratosthène mesura l'intervalle des tropiques. Delambre était de cette opinion-là. Et voici sur quoi il se fondait : « Le gnomon, dit-il, ne donne guère que les ombres du bord supérieur du Soleil; la hauteur de l'équateur qui s'en déduit doit donc être trop forte du demi-diamètre du Soleil ou de quinze minutes environ ; la hauteur du pôle trop petite d'autant. Or la hauteur du pôle à Alexandrie est, en effet, trop faible d'environ vingt-cinq minutes chez Ptolémée, et cette erreur serait inexplicable avec les armilles ou le quart de cercle, qui auraient donné la hauteur du centre, à moins qu'on ne dise que ces instru-

1. Flamsteed, *Historia cœlestis, Prolegom.*, p. 16, 21, 30

ments ne donnaient les angles qu'à un quart de degré près [1]. »

Ératosthène trouva la largeur de la zone tropicale égale à $\frac{11}{83}$ de la circonférence. C'est ce qui faisait croire à Riccioli, auteur de l'*Almageste nouveau*, que le cercle d'Ératosthène était divisé en 83 degrés. Mais Delambre a, selon nous, raison de ne voir dans ces nombres qu'une fraction réduite à ses moindres proportions, afin qu'elle fût plus facile à retenir. « En la supposant, ajoute-t-il, exacte et la multipliant par 360°, nous trouverons 47° 42′ 39″ pour l'intervalle des tropiques, et $\frac{47° 42' 39''}{2} = 23° 51' 19'',5$ pour l'obliquité de l'écliptique. Ptolémée emploie partout 23° 51′ 20″, en nombres ronds ; il dit que c'était la valeur employée par Hipparque, et que c'est aussi ce qu'il a trouvé par ses propres observations, qui lui ont toujours donné des quantités entre $47° \frac{4}{6}$ (40′) et $47° \frac{4}{6}$ et demi (45′)... Supposons qu'Ératosthène ait observé à l'armille solstitiale ; il n'a pu trouver 47° 42′ 39″ ; il aura trouvé $47° 40' = 47° \frac{2}{3}$ ou $47° 50' = 47 \frac{5}{6}$. Or $\frac{47\frac{2}{3}}{360} = \frac{143}{1080} = \frac{11 \cdot 13}{1080} = \frac{11}{83\frac{1}{13}}$. On voit donc comment Ératosthène a pu être conduit assez naturellement à la fraction $\frac{11}{83}$, en négligeant au dénominateur la fraction $\frac{1}{13}$, qui ne produit en effet que 2′ 39″, dont il savait lui-même qu'il ne pouvait pas répondre. »

Géographie physique.

C'est à juste titre qu'Ératosthène peut être considéré comme le créateur de la *Géographie physique et mathématique*. Son mérite a été ici fort bien mis en lumière par Alexandre de Humboldt en ces termes : « Ératosthène dégagea la description de la Terre de toutes les légendes

1. Delambre, *Histoire de l'Astronomie ancienne*, p. 86.

fabuleuses; il interdit même le mélange des faits historiques qui, avant lui, donnaient du mouvement et de l'intérêt à la géographie. Ce désavantage fut bien compensé par des observations mathématiques sur la forme articulée et l'étendue des continents, par des conjectures géognostiques des chaînes de montagnes, sur l'effet des courants et sur les contrées jadis couvertes d'eau, qui offrent encore aujourd'hui toutes les apparences d'un lit de mer desséché. Partageant sur la théorie des écluses, appliquée à l'Océan, les idées de Straton de Lampsaque, bien persuadé que le gonflement du pont Euxin avait produit le percement de l'Hellespont et amené par suite l'ouverture du détroit d'Hercule (Gibraltar), le mathématicien astronome fut conduit par cette croyance à s'occuper de l'important problème de l'égalité de niveau entre toutes les mers extérieures qui enveloppent les continents. On peut juger du succès avec lequel il essaya de généraliser ses idées, d'après cette importante remarque que l'Asie est tout entière traversée, sous le parallèle de Rhodes, le *diaphragme* de Dicéarque, par une chaîne de montagnes qui forme de l'ouest à l'est une ligne de démarcation non interrompue[1]. »

La justesse de ces vues orographiques a été confirmée par les observateurs modernes. Il ne nous reste malheureusement des *Geographica* d'Ératosthène que des fragments qui ont été recueillis et publiés par Bernhardy sous le titre d'*Eratosthenica* (Berlin, 1822, in-8°). On trouve dans ce même recueil les fragments d'un poëme astronomico-géographique, intitulé *Hermès*, qui traitait des formes de la Terre, des différentes zones, des constellations, etc.

Nous avons, sous le nom d'Ératosthène, un petit traité qui a pour titre : Καταστερισμοὶ, *Constellations*. C'est la

1. Alex. de Humboldt, *Cosmos*, t. II, IIe partie, chap. III, et *Asie centrale*, t. I, p. 104-150.

nomenclature de quarante-quatre constellations, accompagnée de leur histoire fabuleuse, avec l'indication des principales étoiles de chaque constellation. Elle commence par la *Grande Ourse* (Ἀρκτὸς ἡ μεγάλη) et finit par la *Voie Lactée* (Κύκλος Γαλαξίας), qui est comptée pour une constellation. L'auteur comprend aussi au nombre de ses *Catastérismes* (Constellations) les planètes, qu'il nomme les *cinq astres* (Πέντε ἀστέρες). On y compte en tout quatre cent soixante-quinze étoiles.

C'est un livre supposé ; la meilleure preuve en est dans la position de la *Polaire*, que l'auteur place à l'extrémité de la queue de la Petite Ourse, près de notre Polaire actuelle. Or du temps d'Ératosthène l'étoile la plus rapprochée du pôle nord, la Polaire d'alors, se trouvait dans la constellation du Dragon. Voilà donc une de ces fraudes dont on peut dire qu'elles se découvrent d'elles-mêmes à la face du ciel. Les *Catastérismes* du pseudo-Ératosthène sont une compilation de quelque écrivain du Bas-Empire. Ils ont été publiés en grec et latin pour la première fois, à la suite de l'édition grecque des *Phénomènes d'Aratus* (Oxford, 1672 et 1678, in-8°). Schaubach les a réédités avec des notes de G. Heyne ; Gœttingue, 1795, in-8°[1].

Hipparque et ses travaux.

Le créateur de l'astronomie mathématique, Hipparque, ne nous a laissé aucun détail sur sa vie, qui était sans doute tout entière dans ses travaux. D'après les observations astronomiques qui nous sont parvenues de lui et qui vont de la 154e à la 160e Olympiade, nous savons seulement qu'il vivait entre les années 160 et 125 avant

1. Voyez, pour plus de détails, *Ératosthène*, article de M. Léo Joubert, dans la *Biographie générale.*

notre ère. Plus jeune qu'Ératosthène, il précéda Ptolémée de deux siècles et demi. Suidas le surnomme le *Nicéen*, tandis que Strabon l'appelle le *Bithynien*, nom que porte aussi le titre d'un Commentaire d'Hipparque sur les *Phénomènes d'Aratus*. De là on a naturellement conclu qu'Hipparque était natif de Nicée, en Bithynie. D'autres le disent originaire de l'île de Rhodes, s'appuyant sur l'autorité de Pline et de Ptolémée. Mais ce dernier dit seulement qu'Hipparque avait fait des observations à Rhodes. S'emparant de la diversité de ces témoignages, Riccioli et Gassendi ont voulu faire d'Hipparque deux personnages distincts, l'un Rhodien et l'autre Bithynien.

Quoi qu'il en soit, le point essentiel c'est de savoir qu'Hipparque avait fait ses meilleures observations astronomiques dans l'île de Rhodes, opulente héritière du commerce des Phéniciens. La ville de Rhodes était située, à un degré et demi près, sous le même méridien qu'Alexandrie, où Hipparque avait aussi, selon toute apparence, observé le cours des astres.

Frappé des erreurs et de l'imperfection des méthodes de ses prédécesseurs, ce grand astronome, le plus grand de l'antiquité, s'était imposé une double tâche : il voulait d'abord soumettre la science à une révision complète, et l'asseoir ensuite sur une base nouvelle, plus exacte. Malheureusement, il ne nous est parvenu qu'une très-faible et la moins importante partie de ses travaux ; nous ne pouvons donc guère en juger que par l'enthousiasme qu'ils avaient excité, et par le respect avec lequel en parlaient Pline et Ptolémée.

Voici ce qui nous reste des nombreux et importants écrits d'Hipparque : *Trois Livres de Commentaires sur les Phénomènes d'Aratus et d'Eudoxe* (Τῶν Ἀράτου καὶ Εὐδόξου Φαινομένων ἐξηγήσεων βιϐλία γ′), publiés par Pierre Victorius (Florence, 1567, in-fol.), et par Petau, avec une traduction latine, dans son *Uranologium*, 1630, in-fol. — *Sur les constellations* (Εἰς ἀστερισμούς), traité réuni par

P. Victorius à son édition de l'œuvre précédente. C'est un *Catalogue d'étoiles*, que Ptolémée a presque littéralement reproduit dans le septième livre de son Almageste.

Les ouvrages suivants d'Hipparque ne sont, à l'exception de quelques extraits donnés par Ptolémée, connus que par leurs titres. Leur simple énumération suffira pour montrer combien leur perte est regrettable. 1° *Des grandeurs et des distances du Soleil et de la Lune* (Περὶ μεγεθῶν καὶ ἀποστημάτων, *scil.* ἡλίου καὶ σελήνης); — 2° *Du mouvement mensuel de la Lune en latitude* (Περὶ τῆς κατὰ πλάτος μηναίας τῆς κινήσεως); — 3° *De la durée du mois* (Περὶ μηναίου χρόνου); — 4° *De la grandeur de l'année* (Περὶ ἐνιαυσίου μεγέθους); — 5° *Du transport des points solstitiaux et équinoxiaux* (Περὶ τῆς μεταπτώσεως τῶν τροπικῶν καὶ ἰσημερινῶν σημείων); — 6° *Livre sur la chute des graves* (Βιβλίον περὶ τῶν διὰ βάρους κάτω φερομένων). — Plutarque, dans son traité *De stoicorum repugnantiis*, attribue encore à Hipparque un ouvrage *Sur l'Arithmétique*, et Pappus un livre *Sur l'Ascension droite des douze signes du zodiaque.* Selon Achille Tatius, Hipparque aurait aussi écrit ur traité *Sur les éclipses du Soleil, suivant les sept climats* Enfin, Théon le mentionne comme l'auteur d'un ouvrage *Sur les cordes de cercle* (Περὶ τῶν ἐν κύκλῳ εὐθειῶν), qui remplaçaient anciennement les *sinus* (demi-cordes).

Établir les rapports des astres entre eux par la détermination de leur distance, de leur grandeur, de leur position et de leurs mouvements, tel était le vaste problème qu'Hipparque s'était proposé de résoudre, plus de seize siècles avant Kepler.

Premier catalogue d'étoiles.

L'apparition d'une étoile dont l'éclat ne s'était pas jusqu'alors montré au ciel, l'apparition d'une *étoile nouvelle* devint pour Hipparque l'occasion d'un recensement général des étoiles (visibles à Rhodes et à Alexandrie)[1]. C'est Pline qui rapporte ce fait, et, comme Ptolémée n'en parle pas, on a voulu le révoquer en doute. Mais, à défaut de renseignements précis, on aurait dû se rappeler que le Catalogue de Tycho-Brahé eut une origine semblable; ce fut à la suite de l'apparition inattendue d'une étoile dans la constellation de Cassiopée (en novembre 1572) que le célèbre astronome danois entreprit sa révision du ciel constellé.

Quoi qu'il en soit, voici le passage de Pline : « Hipparque, qu'on ne saurait assez louer d'avoir montré la parenté de l'homme avec les astres et la solidarité de nos âmes avec le ciel (*cognationem cum homine siderum, animasque nostras partem esse cœli*), Hipparque aperçut une nouvelle étoile, engendrée de son temps.... C'est ce qui l'amena à se demander si un pareil phénomène ne pourrait se reproduire souvent, et si les étoiles que nous croyons fixes ne se déplacent pas en réalité. Il osa donc, entreprise audacieuse même pour un dieu, transmettre à la postérité le dénombrement des étoiles (*ausus, rem etiam Deo improbam, annumerare posteris stellas*), leur imposer des noms et inventer des instruments pour marquer la position et la grandeur de chacun de ces astres, afin qu'on

1. Édouard Biot a trouvé, dans des documents chinois (Collection de *Ma-tuan-lin*), qu'en 134 avant Jésus-Christ les Chinois observèrent une étoile nouvelle dans la constellation du Scorpion. Cette apparition coïncide assez exactement avec l'époque à laquelle remonte la confection du catalogue d'Hipparque.

pût s'assurer ainsi s'il y en a qui naissent ou s'éteignent qui augmentent ou diminuent, enfin, s'ils ne se détournent jamais de leur place ou s'ils sont doués d'un mouvement quelconque. C'est ainsi qu'il laissa le ciel en héritage (*cœlo in hæreditatem cunctis relicto*) à tous ceux qui voudraient l'explorer attentivement[1]. »

Ptolémée a donné, avec quelques modifications, une copie du Catalogue d'Hipparque à la fin du septième livre de l'Almageste. Les étoiles y sont déterminées de position suivant les coordonnées de la sphère oblique (longitude et latitude), à commencer par les étoiles de l'hémisphère boréal. Elles sont divisées par groupes ou *figures* (μορφώσεις), comprenant les diverses constellations. Le Catalogue débute par la *Constellation de la Petite Ourse* (ἀρκτοῦ μικρᾶς ἀστερισμὸς). En voici la disposition (nous traduisons textuellement) :

		Degrés de longitude. (μήκους μοιρίαι)	Degrés de latitude. (πλάτους μ.)	Grandeur.
L'étoile qui est à l'extrémité de la queue.........	Gémeaux.	$0^0 \frac{1}{6}$	66^0	3[e] (γ)
L'étoile qui vient après, sur la queue............	Gémeaux.	$2^0 \frac{1}{2}$	70^0	4[e] (δ)
L'étoile voisine, avant la naissance de la queue....	Gémeaux.	16^0	$74^0 \frac{1}{3}$	4[e]
La méridionale, du côté occidental du quadrilatère	Gémeaux.	$29^0 \frac{2}{3}$	$75^0 \frac{2}{3}$	4[e]
La boréale du même côté	Cancer.	$3^0 \frac{2}{5}$	$77^0 \frac{2}{3}$	4[e]
La méridionale des étoiles du côté oriental..	Cancer.	$17^0 \frac{1}{2}$	$72^0 \frac{1}{2}$	2[e] (β)
La boréale du même côté	Cancer.	$26^0 \frac{1}{6}$	$74^0 \frac{1}{2}$	2[e]

En tout, sept étoiles, dont deux de 2[e] grandeur, une de 3[e], quatre de 4[e].

L'étoile de 4[e] grandeur, la plus méridionale, est en ligne droite avec celles du côté oriental.

Après ce tracé de la Petite Ourse viennent les étoiles des constellations de la *Grande Ourse*, des *Informes de*

1. Pline, *Hist. Nat.*, II, 24.

Dessous (ἄμορφοι ὑπ' αὐτήν), du *Dragon*, de *Céphée*, du *Bouvier*, de la *Couronne boréale*, de l'*Homme à genoux* (τοῦ ἐν γόνασιν), de la *Lyre*, de l'*Oiseau*, etc.; enfin, les étoiles des constellations zodiacales. — La seconde partie du Catalogue comprend les constellations de l'hémisphère austral : les *Pinces* (Χήλη), le *Scorpion*, le *Sagittaire*, le *Capricorne*, le *Verseau*, les *Poissons*, la *Baleine*, *Orion*, le *fleuve Eridan*, le *Lièvre*, le *Chien*, *Procyon*, le *Navire Argo*, l'*Hydre*, la *Coupe*, le *Corbeau*, le *Centaure*, le *Loup* (Θῆριον), l'*Autel*, la *Couronne australe*, le *Poisson austral*.

Le Catalogue d'Hipparque paraît avoir été dressé en l'an 140 avant J. C. Il contient 1026 étoiles, déterminées pour la première fois suivant leur ordre de grandeur ou d'éclat. Ce nombre est le cinquième environ des étoiles (de première à sixième grandeur) qu'un homme, doué d'une excellente vue, puisse apercevoir à l'œil nu sur le ciel entier. On ignore si ces grandeurs, depuis la première jusqu'à la sixième inclusivement, ont été toutes déterminées par Hipparque lui-même, ou si elles ont été, en partie, empruntées aux observations d'Aristille et de Timocharis, faites à Rhodes et à Alexandrie. C'est dans ce Catalogue d'Hipparque que Kepler a compté 58 étoiles de deuxième, 218 de troisième et 499 de quatrième grandeur. La Grande Ourse comprenait 35 étoiles, le Bélier 18, le Taureau 41, la Lyre 10, Hercule 29, la Couronne boréale 8, le Bouvier 23, etc.

La synonymie ancienne des constellations s'accorde-t-elle, de tout point, avec leur synonymie moderne? C'est une question qu'il est permis de poser.

Le catalogue d'Hipparque, tel que Ptolémée nous l'a transmis, devint la base de l'astronomie des Arabes et du moyen âge : les catalogues d'Ulugbeg et Kaswini en font foi. On peut y puiser tous les éléments nécessaires pour une représentation exacte du ciel, correspondant à environ cent quarante ans avant l'ère chrétienne. Or cette représentation, comparée au ciel actuel, démontre que *les étoiles*

sont encore situées, les unes relativement aux autres, comme elles l'étaient il y a deux mille ans. Partant de ce fait fondamental, la question de la concordance de la synonymie ancienne avec la synonymie moderne peut être facilement résolue.

La théorie des sphères solides, renversée par Hipparque.

Dans son *Commentaire sur Aratus*, Hipparque ne montrait pas encore qu'il connût le *mouvement particulier des étoiles en longitude*, dont la découverte forme son principal titre de reconnaissance à la postérité. Il ne paraissait même pas se douter encore que, dans l'intervalle de temps écoulé depuis Eudoxe jusqu'à lui, les étoiles eussent pu changer de position relativement à l'écliptique. Tout cela a fait penser que le *Commentaire sur Aratus* est un ouvrage de la jeunesse d'Hipparque.

Mais, voyant que ses observations ne s'accordaient ni avec le poëme d'Aratus ni avec les notes de ses anciens commentateurs, Hipparque entreprit de relever les erreurs des uns et des autres. Et il a lui-même soin d'avertir le lecteur que, s'il a entrepris cette tâche difficile, ce n'est point pour s'ériger en censeur jaloux, mais dans l'unique désir d'être utile à la science. Voilà un noble avertissement, qui aurait dû servir à tous.

Les anciens commentateurs, particulièrement Attale, donnaient au zodiaque et aux tropiques une largeur matérielle, solide, « afin que le Soleil fût, disaient-ils, toujours contenu dans ces cercles. » Cette manière de voir découlait naturellement de la théorie des cieux ou sphères solides.

Il y a plus de mérite à renverser une erreur traditionnelle qu'à faire une découverte. Hipparque fit le premier crouler la théorie des sphères solides en démontrant que l'équateur, les tropiques, l'arctique, l'antarctique, etc.,

sont de purs cercles géométriques. Il admet, avec Aratus, que nous pouvons avec notre regard embrasser d'un coup d'œil une étendue de 60 degrés; mais il le critique pour avoir dit que les tropiques sont beaucoup plus petits que l'équateur, tandis qu'ils n'en diffèrent que d'un onzième.

On a beaucoup discuté sur la discordance qui existe entre Eudoxe et Hipparque relativement à la manière de compter les *signes* (constellations du zodiaque) et les degrés; mais cette discordance est plus apparente que réelle. Eudoxe plaçait les points équinoxiaux et solstitiaux dans le milieu des signes, et il étendait le signe de l'été, *celui du plus long jour*, θερείτατον, comme l'appelle Aratus, à 15 degrés de part et d'autre du point solstitial. Cette manière de voir était d'autant plus facilement adoptée, qu'on n'avait aucun calcul à faire. Mais Hipparque, qui semble avoir conçu d'instinct la trigonométrie, sentait le besoin de placer le zéro degré du zodiaque et de l'équateur à l'intersection de ces deux cercles, au point occupé par l'angle du triangle sphérique, angle formé par le commencement de l'hypoténuse et de la base. Pour comparer ses calculs aux nombres d'Eudoxe, il nous avertit qu'il faut ajouter 15 degrés aux arcs qu'il calculait sur l'écliptique. « Ainsi, ajoute Delambre, les 15 degrés d'Eudoxe ne signifient pas qu'Hipparque et lui eussent placé le solstice en des points réellement différents. Le point était le même, le chiffre seul était changé. Voilà ce que n'ont pas vu les chronologistes qui avaient à peine quelques notions d'astronomie, et ce que n'ont pas voulu voir les astronomes à système, qui s'étaient égarés à l'envi pour n'avoir pas voulu convenir que l'astronomie a toujours été dans l'enfance chez tous ceux qui ont fait des sphères et des zodiaques sans jamais donner en nombre ni la longitude ni l'ascension droite d'une étoile[1]. »

1. Delambre, *Histoire de l'Astronomie ancienne*, t. I, p. 123.

Instruments astronomiques d'Hipparque.

Tout nous porte à croire qu'Hipparque observa d'abord les ascensions droites et les déclinaisons (les coordonnées de la sphère diurne, droite), d'où il aura ensuite déduit les longitudes et les latitudes (les coordonnées de la sphère annuelle, oblique). A cet effet, se servait-il du calcul des triangles sphériques? Cela est fort contestable; car dans ses *Commentaires sur Aratus* il n'emploie jamais les mots de calcul, de nombre et de trigonométrie. Avec un globe soigneusement construit, avec l'*astrolabe*, mot qui signifie littéralement *preneur d'astres*, il aura pu, pour avoir la longitude et la latitude, rapporter directement, sans calcul, les lieux des astres à l'écliptique.

Un mot sur l'instrument qu'Hipparque paraît avoir inventé pour son usage.

L'*astrolabe*, dont nous donnons ci-dessous le dessin (fig. 4) d'après la description qu'en a faite Ptolémée au Ve livre de l'*Almageste*, se composait de plusieurs cercles, les uns fixes, les autres mobiles. Les deux *cercles fixes* étaient : 1° le *cercle vertical*, dressé dans le plan du méridien du lieu où se tenait l'observateur; on le fixait, soit en le suspendant par son point le plus haut, soit en l'appuyant par son point le plus bas, mais toujours dans la direction d'une ligne méridienne; 2° le *cercle écliptique*, de même dimension que le vertical, au plan duquel il était enclavé perpendiculairement, faisant pour Alexandrie un angle de 7 degrés 9 minutes avec la ligne verticale de cette ville, et dont par conséquent les pôles faisaient le même angle avec le cercle horizontal. Ces pôles de l'écliptique étaient marqués par deux ouvertures qu'on avait pratiquées dans le cercle méridien vertical, et dans ces ouvertures ils tournaient à frottement sur deux cylindres dont les extrémités

faisaient saillie en dehors et en dedans. Les *cercles mobiles*, également au nombre de deux, étaient : 1° le *cercle extérieur* qui embrassait l'écliptique et le cercle vertical (méridien) ; 2° un *cercle intérieur*, dans le même plan que l'extérieur, et qui était embrassé par l'écliptique et le cercle vertical ou méridien. Ces deux cercles mobiles tenaient ferme aux cylindres des pôles de l'écliptique. On les faisait tourner sur ces pôles pour avoir, le long de

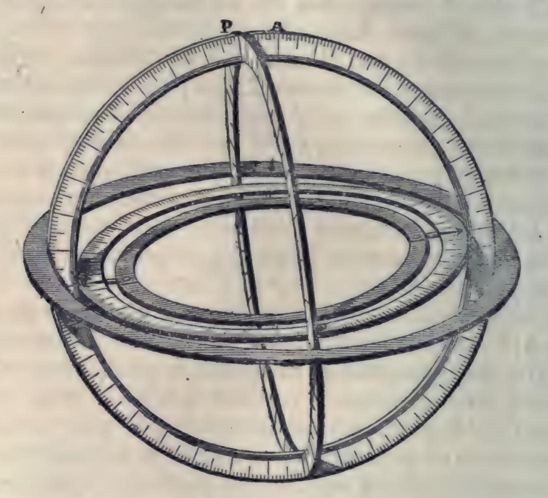


Fig. 4. — Astrolabe.

l'écliptique, les *degrés de longitude des astres;* il suffisait pour cela de mouvoir le cercle extérieur, qui entraîne avec lui le cercle intérieur. Ce dernier portait dans son plan un cercle concentrique qu'on y faisait glisser et qui, par ses deux pinnules diamétralement opposées, montrait, sur le cercle où il glissait, les *degrés de latitude* de l'astre observé[1].

1. Ptolémée, *Almageste*, t. I, préface, p. LVI de l'édition de Halma. Paris, 1813, in-4°.

Tel était l'instrument dont les astronomes continuèrent, depuis Hipparque, à se servir pour rapporter sans calcul les coordonnées de la sphère droite (ascension droite et déclinaison) aux coordonnées de la sphère oblique (longitude et latitude). Il fut d'un usage fréquent à l'observatoire d'Alexandrie.

Dioptre. — Nous ne connaissons le dioptre d'Hipparque que d'après ce qu'en a dit Théon. C'était un instrument composé de deux petites pièces de laiton, assez minces, fendues, disposées rectangulairement, de manière à servir de *pinnules* mobiles autour d'un même centre et jointes entre elles par un cercle gradué.

Cet instrument servait à la constatation d'un fait astronomique fort important, à savoir, que les étoiles (fixes) conservent *toujours* entre elles, c'est-à-dire dans les limites de nos calculs ordinaires de temps, les mêmes rapports ou les mêmes distances angulaires. Supposons qu'un observateur fixe du regard, à travers les pinnules, deux étoiles, peu distantes l'une de l'autre, quelque temps après leur lever; il n'aura qu'à lire sur le cercle le nombre des degrés auxquels correspondent les pinnules, pour avoir la distance angulaire des deux étoiles; qu'il renouvelle l'observation lorsque le mouvement diurne de la sphère les aura amenées à des hauteurs plus ou moins considérables; enfin qu'il répète ces observations autant de fois qu'il voudra, quand les mêmes étoiles inclinent vers le coucher, la distance angulaire restera invariable. Ce fait avait surtout besoin d'être vérifié, parce que d'abord l'illusion optique nous fait paraître deux étoiles d'autant plus distantes l'une de l'autre qu'elles sont plus voisines de l'horizon, et qu'ensuite les mêmes constellations ne présentent pas tout à fait la même forme, suivant qu'elles ont été observées à l'horizon ou au méridien.

Météoroscope ou *armille solstitiale.* — Cet instru-

ment, dont l'invention paraît également due à Hipparque, était une simple modification de l'astrolabe : c'était l'*astrolabe planisphère*, qui portait seulement une règle avec deux pinnules pour mesurer la hauteur d'un astre. Il se trouve décrit et figuré dans le liv. I, chap. x, de l'*Almageste*. Le grand cercle en laiton représentant le méridien était divisé en 360 degrés et en autant de subdivisions qu'il pouvait en recevoir. A ce cercle était adapté, en dedans, un autre cercle, mais plus petit, et de manière que leurs surfaces fussent situées dans le même plan. Le petit cercle pouvait tourner sur son centre du midi au nord et du nord au midi. L'œil était supposé placé au pôle ; l'équateur était le plan de projection orthogonale, et tous les méridiens étaient des lignes droites.

L'astrolabe planisphère était d'un fréquent usage chez les astronomes arabes et du moyen âge. Cette projection des cercles de la sphère sur un plan servait à trouver les ascensions droites, les déclinaisons, les levers et les couchers des astres.

Sphère artificielle. — La sphère d'Hipparque, décrite par Ptolémée (liv. III, chap. III, de l'*Almageste*), était faite en une étoffe de couleur foncée où étaient figurées en blanc les principales étoiles des constellations. Deux cercles de métal poli l'entouraient rectangulairement. Elle devait, comme le dioptre, être employée à s'assurer si les étoiles n'ont pas changé de positions relatives. « De ces observations nous pouvons, dit Ptolémée, conclure que les étoiles appelées *fixes* conservent entre elles invariablement la même position, et qu'elles sont toutes enchaînées par un mouvement commun[1]. »

Une chose digne de remarque, c'est que, malgré tous ces secours qu'il s'était pour ainsi dire créés lui-même, Hipparque n'a pu nous transmettre que des positions

1. Ptolémée, *Almageste*, VII, 2.

d'étoiles assez imparfaites. Comment prétendrait-on alors trouver plus d'exactitude chez les astronomes plus anciens? Aussi la sphère d'Aratus, malgré les paraphrases et les annotations de ses commentateurs, nous apprend-elle seulement qu'on avait de bonne heure divisé le ciel en constellations, et qu'on y avait groupé des étoiles le mieux qu'on avait pu. Suivant la juste opinion de Delambre, « on ne pouvait être sûr de rien dans un temps où l'on n'avait aucun instrument de précision ni aucune idée du calcul trigonométrique[1]. »

C'est dans le *Commentaire* d'Hipparque qu'on a trouvé la preuve la plus ancienne que les *étoiles peuvent diminuer d'éclat*. Ainsi, en critiquant Aratus, Hipparque dit : « L'étoile du pied de devant du Bélier est aussi remarquablement brillante[2]. » Or, de nos jours, cette étoile est seulement de quatrième grandeur, c'est-à-dire à peine visible. « Vainement, remarque ici Arago, voudrait-on, pour échapper à la conséquence que cette observation entraîne, changer la forme de l'animal ; le pied du Bélier s'étendrait même jusqu'au nœud des Poissons qu'on n'y aurait rien gagné, puisque la plus brillante de ce nœud n'est aussi que de quatrième grandeur[3]. »

Découverte de la précession des équinoxes.

Pour bien fixer les idées, rappelons que le temps que le Soleil met à revenir au même point équinoxial (point d'intersection de l'équateur avec l'écliptique) se nomme l'*année tropique*, l'année qui fait la base de toute notre

1. Delambre, *Histoire de l'Astronomie ancienne*, t. I, p. 137.

2. Voici ses propres expressions : Καλῶς δέ ἐστιν ἐκφανὴς (*sc.* ἀστὴρ) καὶ ὁ ἓν τοῖς ἐμπροσθίοις αὐτοῦ ποσὶν κείμενος. *Hipparch. ad Phænom. Aratus*, dans Petau, *Uranologium*, p. 186 (Paris, 1630, in-fol.).

3. Arago, *Traité d'Astronomie*, t. I, p. 377.

chronologie : elle est, comme nous avons vu plus haut, de 365 jours et un peu moins d'un quart de jour. Mais ce point d'intersection est-il absolument invariable? ne change-t-il pas de place vis-à-vis de l'étoile à laquelle on le rapportait? Suivant l'autorité traditionnelle qui imposait comme un dogme la croyance à l'*incorruptibilité* ou à l'immutabilité du ciel, la question était d'avance tranchée ; la soulever même, c'était commettre un sacrilége. Il fallut donc à la fois beaucoup de courage et beaucoup de sagacité pour y répondre affirmativement, en opposition avec la croyance établie. Voici comment Hipparque y fut amené.

En comparant entre elles des éclipses de Lune, observées de son temps, avec des éclipses de Lune observées un siècle et demi avant lui par Timocharis, Hipparque eut occasion de mesurer la distance qui séparait l'Épi, *spica* (étoile de première grandeur de la constellation de la Vierge), du point équinoxial d'automne, et de la comparer à celle qu'avait trouvée Timocharis. A sa grande surprise, il remarqua une différence de *deux degrés* (Hipparque avait trouvé 6 degrés, et Timocharis 8 degrés pour la distance de la même étoile au même point équinoxial). Cette différence de 2 degrés en moins (une longueur d'environ quatre fois le diamètre de la pleine Lune) était trop grande pour qu'elle pût être mise sur le compte d'une simple erreur d'observation. S'emparant de ce fait, Hipparque se posa le problème suivant : Si du temps de Timocharis l'Épi précédait le point équinoxial de 8 degrés, dans le sens de la longitude des constellations zodiacales, et que maintenant (après cent cinquante ans révolus) la même étoile précède ce point seulement de 6 degrés, il y a lieu de se demander si les autres étoiles ne participent pas au même mouvement.

Pour résoudre ce problème, Hipparque fit une série d'observations comparatives dont le résultat final était que *toutes les étoiles soumises à son examen*

avaient un mouvement semblable, suivant l'ordre des signes[1].

Le fait est certain. Pendant que le Soleil (que pour plus de simplicité nous supposerons avec les anciens tourner autour de la Terre) accomplit son mouvement propre annuel, en s'avançant de l'occident à l'orient, à travers les constellations du zodiaque, parallèlement au plan de l'écliptique (mouvement en longitude), les étoiles paraissent, par un mouvement contraire, également en longitude, mais beaucoup plus lent, devancer (*præcedere*) le Soleil. Si la quantité dont elles précèdent le Soleil est inappréciable par jour, elle devient déjà sensible à la fin d'une année (50″, 3), et, dans un siècle, elle s'élèvera à plus d'un degré et demi; en sorte qu'au bout d'environ vingt-cinq mille ans toute la sphère oblique (sur laquelle se mesurent les mouvements propres du Soleil, de la Lune et des planètes) aura fait un tour entier (360 degrés) sur son axe par un mouvement en longitude, qui change nécessairement les ascensions droites et les déclinaisons des astres sur la sphère droite.

Tel est le phénomène qu'on appelle la *précession des équinoxes*. Hipparque le découvrit en observant que les étoiles, tout en conservant leurs distances relatives, s'étaient avancées dans l'ordre des signes (constellations) du zodiaque d'environ 2 degrés et demi. Il pensait d'abord que ce déplacement des étoiles n'affectait que les constellations zodiacales; mais il s'assura bientôt de *la généralité de ce mouvement* de la sphère oblique autour des pôles de l'écliptique.

Cependant Hipparque n'osa pas encore, — tant les esprits supérieurs mettent de la réserve dans leurs généralisations, — se prononcer ouvertement : il laissa là le fait de sa grande découverte, comme une hypothèse à confirmer

1. Tous ces détails, cités par Ptolémée (livre VII, chap. II, de l'*Almageste*), ont été extraits de l'ouvrage d'Hipparque, malheureusement perdu, *Sur le transport des points solstitiaux et équinoxiaux.*

par les observateurs futurs. — La quantité de mouvement (50″, 3) dont le Soleil, revenu au même équinoxe, est distancé ou précédé par l'étoile avec laquelle on le supposait parti à compter du même méridien, représente, évaluée en temps, environ vingt minutes ($20^m\ 18^s,7$). C'est cette quantité qu'il faut ajouter à l'année tropique pour avoir l'*année sidérale*. Celle-ci est donc plus longue que l'année tropique, contrairement à ce qui a lieu pour le jour sidéral comparé au jour solaire. Ce mouvement de la sphère oblique, qui n'altère pas les latitudes, puisqu'il a lieu parallèlement à son équateur (l'écliptique), a pour effet de faire rétrograder, de l'orient à l'occident, la position de l'équinoxe, et de faire repasser le Soleil lentement par les mêmes constellations au rebours de l'ordre dans lequel il les traverse annuellement. Déjà le Bélier, que, du temps d'Hipparque, le Soleil occupait au printemps, n'a plus que la valeur d'un signe commémoratif : il fait aujourd'hui, pour le rappeler, place à la constellation des Poissons. La rétrogradation d'un signe ne représentera ici qu'un mois (d'un peu plus de 2000 ans) de la grande année (d'environ 25 000 ans) qui s'est écoulée depuis cette époque, si chaque signe du zodiaque doit représenter 30 degrés ou la douzième partie du cercle céleste (la valeur d'un mois ou d'une rotation lunaire). C'est donc surtout à l'astronomie qu'on peut appliquer cet aphorisme d'Hippocrate : « La vie est courte, mais la science est longue. »

Détermination de la longueur de l'année.

Hipparque eut recours tout à la fois à l'observation et au calcul.

Dans un passage du traité (perdu) d'Hipparque *Sur la longueur de l'année*, cité textuellement par Ptolémée (III, 2), on lit ces paroles : « ....Quant aux solstices, je

ne crains pas, dit Hipparque, qu'Archimède et moi nous nous soyons trompés, jusqu'à un quart de jour, et dans l'observation et dans le calcul ; mais l'inégalité, s'il en existe réellement dans les durées des années, peut se reconnaître par des observations faites à Alexandrie, au cercle de cuivre placé dans le Portique, qu'on nomme *Portique carré*. Ce cercle indique l'instant de l'équinoxe au jour où sa surface concave commence à être éclairée de l'autre côté (qui était dans l'ombre). »

Un examen comparatif des cycles de Méton et de Calippe permit à Hipparque d'établir que l'année solaire, dite *égyptienne* (appelée plus tard *Julienne*), jusqu'alors évaluée à 365 jours et 6 heures, était d'environ 9 minutes trop grande. Le cycle de Méton était, comme nous l'avons vu, composé de 235 mois lunaires, qui font 6940 jours. Or cet intervalle de temps est de 6 heures trop long pour s'accorder exactement avec le mouvement du Soleil, et trop long de 7 h. et 1/2 pour s'accorder avec le mouvement de la Lune. Par suite de la correction imaginée par Calippe, en quadruplant la période métonienne, le mouvement de la Lune n'anticipait sur la nouvelle période (de 76 années solaires) que de 5 heures 52 minutes, c'est-à-dire d'environ un jour dans 304 ans. Mais son écart du mouvement du Soleil était plus considérable : il était d'un jour et environ 6 heures au bout de 2×76 ou 152 ans. Ce défaut n'échappa point à Hipparque. Ses observations lui avaient appris que l'année solaire et l'année lunaire ne sont pas tout à fait aussi longues que Calippe l'avait supposé ; et voyant que l'anticipation était d'un jour en quatre périodes (ce qui est exact pour le Soleil et un peu moins pour la Lune), il quadrupla le cycle de Calippe, et en retrancha le jour excédant au bout de quatre révolutions. Par suite de cette nouvelle correction, l'anticipation d'un jour et 6 heures de la Lune sur le Soleil ne portait que sur 2×152 ou 304 ans. Malgré ce perfectionnement, le

cycle d'Hipparque ne fut pas, comme nous l'avons dit, adopté[1].

Mais, dans ces recherches, Hipparque avait moins pour but d'attacher son nom à une période, — genre de gloire assez prisé par les astronomes de l'antiquité, — que d'arriver à une détermination plus exacte de la longueur de l'année. Quels sont ici les meilleurs points de repère? Cette question que s'était, avant tout, posée Hipparque, conduisit ce grand astronome à distinguer le premier les années entre elles, suivant qu'elles sont *tropiques* ou qu'elles sont *sidérales*. Et voici comment il y fut conduit; c'est Ptolémée qui va nous l'apprendre : « Ce qui, dans ses recherches sur la longueur de l'année, étonna le plus Hipparque, cet homme plein d'amour pour la vérité (φιλαληθής), c'est qu'en comparant les retours du Soleil aux points solstitiaux et équinoxiaux, il trouvât l'année un peu plus courte que 365 jours 1/4, — c'était l'*année tropique*, — et qu'en comparant les retours du Soleil aux mêmes étoiles fixes, il la trouvât un peu plus longue[2]; » — c'était l'*année sidérale*.

L'étonnement d'Hipparque doit nous remplir d'admiration pour la sagacité de cet observateur. En effet, la durée exacte de l'*année tropique*, exprimée en jours solaires, est de $365^j\ 5^h\ 48^m 51^s,6$; tandis que la durée de l'*année sidérale*, en jours moyens, est de $365^j\ 6^h\ 9^m\ 10^s,37$. L'*année sidérale* surpasse donc, pour le répéter, l'*année tropique* de $20^m\ 18^s,7$. Hipparque connaissait parfaitement la cause immédiate de cette différence, puisqu'il l'attribuait au mouvement de précession des équinoxes, qu'il avait découvert. Aussi n'hésita-t-il point dans le choix des points de repère pour mesurer la longueur de l'année : il donna la préférence aux points équinoxiaux ou solstitiaux.

Ptolémée applaudit à ce choix par des raisons qui

1. Voyez plus haut, p. 125.
2. Ptolémée, *Almageste*, III, 2.

étaient sans doute celles d'Hipparque lui-même. « Nous estimons, dit-il, que, pour avoir la durée de l'année solaire, il faut considérer le *retour du Soleil chez lui-même* (τὴν αὐτοῦ τοῦ ἡλίου πρὸς ἑαυτὸν — ἀποκατάστασιν), c'est-à-dire à son point de départ; car, à raisonner mathématiquement, nous ne trouverons pas de moment plus convenable que celui qui ramène, *pour l'espace comme pour le temps* (τοπικῶς καὶ χρονικῶς), le Soleil à la même position, que nous le considérions soit par rapport à l'horizon ou au méridien, soit par rapport à la durée des jours et des nuits, que le moment des solstices et des équinoxes. Et, à examiner la chose sous un point de vue purement physique, on ne saurait assigner de période plus raisonnable que celle qui ramène les mêmes températures, et qui porte le Soleil d'une saison à la saison semblable, ni d'autres points d'où l'on puisse plus commodément commencer l'année que ceux qui distinguent le mieux les saisons. Le retour du Soleil aux mêmes étoiles (*année sidérale*) ne présente aucun de ces avantages; il serait absurde de lui donner la préférence, par plusieurs raisons, mais principalement parce que la sphère des étoiles ayant elle-même un mouvement réglé, que l'on distingue suivant l'ordre des signes (la précession des équinoxes), rien n'empêcherait de dire que l'année solaire est le temps employé par le Soleil à rejoindre Saturne ou une autre planète quelconque, ce qui donnerait des années de longueurs différentes. C'est pourquoi nous jugeons devoir donner le nom d'*année solaire* (tropique) à l'intervalle de temps donné par le retour du Soleil soit au même point équinoxial, soit au même point solstitial[1]. »

Ces importantes remarques de Ptolémée sont probablement tirées du livre même d'Hipparque, malheureusement perdu, *Sur la longueur de l'année.*

Mais l'année tropique est-elle toujours, invariablement,

1. Ptolémée, *Almageste*, III, 2.

de la même longueur? Hipparque pouvait et devait se poser cette question depuis que sa découverte de la précession des équinoxes l'avait sans doute rendu extrêmement défiant à l'égard de la prétendue stabilité (*incorruptibilité*) des cieux. Ptolémée parle, en effet, de l'inquiétude que le grand astronome avait au sujet de l'égalité des retours aux mêmes points du zodiaque. Puis il s'empresse de rassurer les astronomes, en concluant d'une série d'observations, faites en partie par lui-même, en partie par d'autres, que *l'année tropique est d'une longueur constante.*

Hipparque avait-il lui-même cette conviction-là? Nous l'ignorons; mais ce qu'il y a de certain, c'est que son inquiétude, indice d'un doute philosophique, le conduisit à une découverte aussi importante que celle de la précession des équinoxes.

Découverte de l'inégalité du mouvement propre du Soleil.

Rien ne facilite mieux la compréhension des choses que la définition exacte des mots. Nous avons plus haut assez longuement insisté sur ce qu'il faut entendre par mouvement *général* (diurne) et par mouvement *propre* ou *particulier* (annuel) pour n'avoir pas besoin d'y revenir. Mais dans le mouvement propre nous avons à considérer ce qu'on est convenu d'appeler, d'une part, le mouvement ou la vitesse *angulaire*, et, de l'autre, le mouvement ou la variation de *distance.*

Le mouvement propre (apparent) du Soleil dans le plan de l'écliptique, mesuré, à l'est et à l'ouest, en degrés et fractions de degré (minutes et secondes), est un mouvement angulaire, comme l'est celui qui se mesure sur le méridien au nord et au midi de l'équateur, pris pour 0°. Le premier est un mouvement angulaire en *longitude* (orientale ou occidentale), le second est un mouvement angulaire en *déclinaison* (boréale ou australe).

C'est du premier que nous allons d'abord nous occuper.

L'année tropique se compose, comme nous venons de le voir, d'une certaine somme de jours (365) et d'une fraction de jour, exprimée en chiffres ronds, par 6 heures, ce qui fait un total de 8766 heures. Si l'on divise le nombre 8766 par 360° (mesure de l'intervalle de temps que le Soleil met à parcourir le contour entier du cercle de l'écliptique, à revenir au même équinoxe ou au même solstice), on aura 0° 59′ 8″, 3 pour le déplacement diurne moyen du Soleil, représentant la valeur moyenne du jour solaire.

Or le Soleil se déplace-t-il chaque jour exactement de la même quantité? Parcourt-il le cercle écliptique d'un mouvement uniforme? Son mouvement propre angulaire (en longitude) n'est-il jamais ni ralenti ni accéléré? Ces questions, qui toutes expriment la même chose dans des termes différents, furent incontestablement posées par Hipparque. S'il s'était borné à n'observer qu'un intervalle de temps très-court, comme, par exemple, la durée d'un jour ou d'une semaine, il n'aurait probablement jamais résolu le problème proposé. Mais, sachant que les petites quantités ne deviennent bien appréciables que par leurs sommes, il eut l'idée de comparer entre eux les nombres de jours qui composent les différentes saisons. En combinant donc ses observations avec celles de ses prédécesseurs, il trouva, comme résultat général, une différence notable entre la durée astronomique du printemps et de l'été, et celle de l'automne et de l'hiver. Il avait remarqué, en effet, que la durée du printemps et de l'été réunis était de 187 jours, dont 94 jours 1/2 pour le printemps (intervalle compris entre l'équinoxe du printemps et le solstice d'été) et 92 jours 1/2 pour l'été (intervalle compris entre le solstice d'été et l'équinoxe d'automne). Le total de 187 jours exprimait la durée du séjour du Soleil dans l'hémisphère boréal. Il ne restait donc, pour compléter l'année, que

178 jours 1/4 pour le séjour du Soleil dans l'hémisphère austral, ou pour les deux autres saisons (automne et hiver réunis).

De tout cela que fallait-il conclure? Évidemment que le mouvement du Soleil n'est pas uniforme, que le Soleil met moins de temps à parcourir la moitié australe de la sphère que sa moitié boréale; et il résulte de l'analyse de ce grand fait que le minimum et le maximum de vitesse correspondent aux solstices, le premier au solstice d'été, le second au solstice d'hiver, et que la vitesse moyenne correspond aux équinoxes, ce qui explique l'expression de *jour équinoxial*, si souvent employée par Ptolémée. Or tous les philosophes et astronomes avaient jusqu'alors admis comme un dogme que le mouvement propre annuel du Soleil autour de la Terre est exactement circulaire et uniforme, parce que, disaient-ils, le cercle est de toutes les figures géométriques la plus parfaite, et que la dignité du mouvement uniforme peut seule convenir à la marche des corps célestes.

Hipparque osa-t-il porter hardiment la main sur ce dogme traditionnel? C'est plus que probable. Mais, avant de se prononcer, il voulut sans doute s'entourer du plus grand nombre possible d'observations. A défaut de témoignages historiques, le champ n'est malheureusement ouvert qu'aux conjectures. Quoi qu'il en soit, Ptolémée, qui professait un grand respect pour les doctrines traditionnelles, rejeta comme une hérésie jusqu'au soupçon même de la moindre inégalité dans le mouvement du Soleil. Ses idées sur les *mouvements moyens* du Soleil, que nous ferons connaître plus loin, étaient-elles conformes à celles d'Hipparque? Cela nous paraît extrêmement douteux.

Mouvement ou variation de distance. — Distance, grandeur, mouvement, tels sont les éléments inséparables d'une étude rationnelle de l'astronomie; leur rapport fait la base de la solution des plus importants problèmes.

Hipparque le savait ; mais comment arriver à connaître les distances et les grandeurs de nos deux astres principaux, du Soleil et de la Lune? A défaut d'une méthode directe, il imagina une méthode indirecte très-ingénieuse, connue sous le nom de *Diagramme d'Hipparque.*

Cette méthode consistait à comparer entre eux les diamètres apparents, les parallaxes horizontales du Soleil et de la Lune (angles que sous-tendrait le rayon terrestre s'il était vu du centre de ces astres), leurs distances et leurs grandeurs respectives, ainsi que le diamètre de l'ombre terrestre, quand la Lune la traverse dans ses éclipses. Il existe, en effet, entre ces divers phénomènes un rapport tel, que, quelques-uns étant donnés, tous les autres le sont également. Hipparque parvint, par cette méthode, à évaluer la distance de la Terre au Soleil à 1200 rayons terrestres (distance environ vingt fois trop petite), sa parallaxe horizontale à 3 minutes (en réalité plus de vingt fois trop grande), et la distance moyenne de la Terre à la Lune à 59 rayons terrestres, distance exacte, à un seul rayon terrestre près (il en faut 60, au lieu de 59). De ces données il concluait que le diamètre du Soleil est égal à cinq fois et demi celui de la Terre (il est en réalité 112 fois plus grand).

Sans doute le *Diagramme d'Hipparque*, considéré comme moyen de détermination des distances et grandeurs du Soleil et de la Lune, n'a plus qu'une valeur historique. Mais on en a conservé le principe, relativement au calcul des éclipses.

Tables du Soleil et de la Lune.

Les premières *Tables du Soleil*, ainsi que les premières *Tables de la Lune*, furent l'œuvre d'Hipparque : elles prédisaient, en vers, et pour six cents ans, le cours du Soleil et de la Lune, si l'on doit prendre à la lettre les

mots *præcinuit* et *sexcentos*, quoique *præcinere* n'implique pas nécessairement l'idée de *vers*, et que *sexcenti* soit souvent employé comme simplement synonyme de *grand nombre*[1]. « Dans ces *Tables*, ajoute Pline, Hipparque embrasse, pour la fixation du temps, les mois, les jours, les heures, les sites des lieux et les différents aspects du ciel, suivant la différence des régions, absolument comme si la nature l'eût admis dans ses conseils (*haud alio modo quam consiliorum naturæ particeps*)[2].

Premier essai d'une théorie de la Lune.

Hipparque jeta les fondements de la théorie de notre satellite. A cet effet, il mesura d'abord, plus exactement qu'on ne l'avait fait jusqu'alors, les révolutions synodiques de la Lune. La méthode dont il se servait rappelle celle qu'il avait employée pour mesurer le mouvement annuel du Soleil : il comparait d'anciennes observations d'éclipses avec les siennes, et divisait l'intervalle écoulé par le nombre des révolutions. Il fixa à 5 degrés la distance du point (foyer de l'ellipse) qu'occupe la Terre au centre de la courbe décrite par la Lune. Il mesura de même, plus exactement que ses prédécesseurs, le mouvement de la ligne des apsides (périgée et apogée), qui suit l'ordre des signes (de l'occident à l'orient), et celui des nœuds qui, analogues aux équinoxes, se déplacent d'orient en occident[3].

1. Pline, *Hist. Nat.*, III, 9 : *Utriusque sideris cursum in sexcentos annos præcinuit.*

2. Strabon nous a conservé une partie de ces Tables ou éphémérides astronomiques.

3. andis que les équinoxes (solaires) ne se déplacent, pour le rap-

Première tentative d'une théorie des planètes.

Avec sa réserve habituelle, Hipparque ne s'estimait pas en état de jeter les bases de la théorie des planètes, à cause du trop petit nombre d'observations dont il pouvait disposer. « Nous voyons, dit Ptolémée, par les travaux qu'Hipparque nous a transmis, qu'il n'a rien fait pour commencer la théorie des cinq planètes, et qu'il a seulement mis dans un ordre plus commode les observations qui en avaient été faites, et qu'il a montré par leur moyen que les phénomènes ne répondaient pas aux suppositions des mathématiciens d'une époque antérieure. Car il pensait que chaque planète avait une double anomalie (inégalité), ou que les rétrogradations de chacune étaient inégales et d'une quantité déterminée, quoique les autres géomètres n'eussent démontré par les lignes qu'une seule anomalie et une seule rétrogradation, et il disait que ces mouvements se faisaient, non par des cercles excentriques ou concentriques au zodiaque, mais par des épicycles portés sur des cercles, ou par les uns et les autres à la fois, l'anomalie zodiacale étant d'une quantité, et celle qui est relative au Soleil étant d'une autre. Car c'est sur quoi se sont appuyés ceux qui ont voulu montrer le mouvement circulaire par une table appelée perpétuelle. Mais ils n'y ont pas réussi et se sont trompés. Hipparque, au contraire, pensait qu'après être arrivé jusqu'à ce point de certitude par des voies purement mathématiques, il ne fallait pas en rester là, comme les autres, qui n'avaient pas pu aller plus loin ; mais que, pour se convaincre soi-

peler, que d'environ 50″ par an, les nœuds de la Lune se déplacent, pendant la même période et dans le même sens, de 19° 20′ 29″,7, ce qui correspond à 3′ 10″,6 par jour. La ligne des apsides se meut d'environ 40° par an ou de 3° par lunaison.

même et convaincre les autres, il fallait démontrer par des phénomènes évidents et non contestés les grandeurs et les périodes des anomalies, et, en joignant l'ordre et la position des cercles où elles se font, trouver le mode de leur mouvement et expliquer d'ailleurs tous les phénomènes par les propriétés qui dépendent de l'hypothèse de ces cercles. Cela lui a paru difficile à exécuter[1]. »

Ces aveux d'Hipparque, rapportés par Ptolémée, attestent son génie ; ils montrent combien il répugnait à ce grand astronome, comme plus tard à Newton, de *forger des hypothèses*. Nous verrons que Ptolémée fut loin d'être aussi réservé.

A raison des calculs nombreux qu'Hipparque a dû exécuter pour ses travaux, on le considère généralement comme l'inventeur de la trigonométrie. Mais nous manquons à cet égard de preuves absolument certaines

Ce qu'il y a d'incontestable c'est qu'Hipparque connaissait les écrits d'Archimède, et qu'il savait les mettre à profit.

Méthode de projection d'Hipparque. Latitudes et longitudes terrestres.

L'astronomie a des rapports si intimes avec la géographie mathématique qu'Hipparque passe, comme Ératosthène, pour l'un des fondateurs de cette science. Tout en lui préférant Ératosthène, Strabon ne peut s'empêcher de le louer pour avoir particulièrement insisté sur l'emploi des longitudes, à l'effet de fixer plus rigoureusement les lieux terrestres. Suivant Ptolémée, Hipparque se servait des observations d'éclipses de Lune pour déterminer les longitudes de plusieurs villes. Au rapport de

1. Ptolémée, *Almageste*, IX, 2 (t. II, p. 118-119, de l'édit. de Halma).

Strabon, il admettait la division du cercle méridien en 360 parties (degrés), valant chacun 700 stades.

Gosselin présente Hipparque comme l'inventeur de la méthode de projection. « Nous ne trouvons, dit ce géographe, aucune trace qui indique qu'elle ait été connue d'Ératosthène; et elle l'était du temps de Strabon, puisqu'il parle de cartes dont les méridiens et les parallèles étaient courbes. Hipparque, en rassemblant les observations qui pouvaient être appliquées aux longitudes, a dû nécessairement tenir compte de la diminution qu'éprouve l'étendue des parallèles à mesure qu'ils s'éloignent de l'équateur, ce qui l'aura conduit à chercher quelle pouvait être la courbure que devaient prendre les cercles de la sphère lorsqu'il est question de les tracer sur une surface plane. Ce moyen qui soumettait impérieusement la géographie aux observations astronomiques, était le plus grand pas que la science pût faire, et l'on doit à Hipparque le principe qui l'a insensiblement conduite à la perfection qu'elle a acquise depuis[1]. »

1. Gosselin, *Géographie des Grecs*, p. 53-54.

CHAPITRE IX.

ASTRONOMIE D'ARCHIMÈDE.

Archimède, sur lequel nous nous étendrons davantage dans l'*Histoire des mathématiques*, avait figuré les astres et leurs mouvements sur une sphère qui était un objet d'admiration universelle. Cicéron la regardait comme une des inventions qui font le plus d'honneur à l'esprit humain, et Claudien l'a célébrée dans des vers souvent cités[1]. Archimède en fit lui-même la description sous le titre de *Sphæropoeïa*; mais cet ouvrage, cité par Pappus, ne nous est point parvenu.

C'est dans son *Arénaire* qu'Archimède témoigne surtout de ses connaissances astronomiques. Ce petit traité, dédié au roi Gélon, était une espèce de récréation astronomico-mathématique. L'auteur en expose, dès le début, l'objet. « Il est, dit-il, des personnes qui pensent que le nombre des grains de sable est infini. Je ne parle point du sable

1. Voici les vers de Claudien (*Epigramma* LXVIII) :

Jupiter, in parvo quum cerneret æthera vitro,
Risit, et ad superos talia verba dedit:
Huccine mortalis progressa potentia curæ?
Jam meus in fragili luditur orbe labor.

qui est autour de Syracuse, ni de celui qui est répandu dans le reste de la Sicile; je parle du sable qui pourrait se trouver, non-seulement dans toutes les régions habitées, mais encore dans les régions inhabitées. Quelques-uns croient que le nombre des grains de sable n'est pas infini, mais qu'il est impossible d'en donner un nombre plus grand[1]. Si ceux qui pensent ainsi se représentaient un volume de sable qui fût égal à celui de la Terre, qui remplît toutes ses cavités et les abîmes de la mer, et qui s'élevât jusqu'aux sommets des plus hautes montagnes, il est évident qu'ils seraient bien moins persuadés qu'il pût exister un nombre qui surpassât celui des grains de sable. Quant à moi, je vais faire voir par des démonstrations géométriques que, parmi les nombres dénommés par nous dans les livres adressés à Zeuxippe, il en est qui excèdent le nombre des grains d'un volume de sable égal, non-seulement à la grandeur de la Terre, mais encore à celui de l'Univers. »

Archimède prend ici, pour point de départ, l'étendue qu'Aristippe de Samos avait donnée au monde. Le système qu'il emploie pour exprimer un nombre quelconque se rapproche beaucoup de la simplicité de notre arithmétique arabe ou indienne. On a même cru trouver dans ce système la première idée des logarithmes; mais c'est peut-être aller trop loin. On voit, il est vrai, dans l'Arénaire, deux progressions, l'une arithmétique et l'autre géométrique : la première sert à trouver un terme quelconque de la seconde. Mais c'est une pure spéculation, ayant pour but de montrer comment on pourrait étendre indéfiniment la suite des nombres; jamais Archimède n'a songé à s'en servir dans les calculs ordinaires pour changer la multiplication en une addition, et

1. Il y avait là une sorte de contradiction, car l'infini est précisément ce qui ne peut être exprimé par aucun nombre, et devant lequel toutes les quantités déterminées s'évanouissent.

la division en une soustraction. N'exécutant aucun calcul, il se borne à indiquer de quel ordre doit être le produit de deux termes quelconques de sa progression géométrique dont la raison est 10; et, pour plus de facilité dans ses opérations, il ajoute constamment au résultat du calcul ce qui lui manque pour être un multiple d'une puissance parfaite de 10. Quoi qu'il en soit, sa méthode est extrêmement ingénieuse; et c'est principalement à son Arénaire, ainsi qu'à son commentateur Eutocius, que nous sommes redevables de tout ce que nous savons de plus précis sur l'arithmétique des Grecs.

Il y a dans l'Arénaire un passage qui contient un *procédé pour mesurer le diamètre apparent du Soleil.* Voici ce passage remarquable. « J'ai essayé moi-même, dit Archimède, de prendre avec des instruments l'angle qui comprend le Soleil et qui a son sommet à l'œil de l'observateur; et ensuite un autre angle, qui ne soit pas plus petit que celui qui comprend le Soleil, et qui a aussi son sommet à l'œil de l'observateur. » — Voici maintenant la description du procédé. « J'ai placé d'abord, dit l'auteur, une longue règle sur une surface plane, élevée dans un endroit d'où l'on pût voir le Soleil levant. Aussitôt après le lever du Soleil, je posai perpendiculairement sur cette règle un petit cylindre; puis, je dirigeai la règle vers le Soleil, l'œil étant à l'une de ses extrémités, et le cylindre étant placé entre le Soleil et l'œil de manière qu'il cachât entièrement l'astre. J'éloignai ensuite le cylindre de l'œil jusqu'à ce qu'on vît un mince filet de lumière déborder les côtés du cylindre.... Si notre vue (représentée par l'œil) n'était qu'un point, il suffirait de mener, du lieu de la vue, des lignes tangentes aux côtés du cylindre; l'angle compris entre ces lignes serait un peu moindre que le diamètre du Soleil. Mais, comme nos deux yeux ne sont pas un point unique, j'ai pris un autre corps rond, non moindre que la vue (l'intervalle entre les deux prunelles), puis, mettant ce corps à la place de la vue au bout

de la règle, et menant des lignes tangentes aux deux corps dont l'un était cylindrique, j'ai pu obtenir l'angle qui comprend le diamètre du Soleil. Or, voici comment on détermine le corps qui n'est pas moindre que la vue. On prend deux cylindres égaux, l'un blanc et l'autre noir. On les place en avant, le blanc plus loin, l'autre tout près, de manière qu'il touche au visage de l'observateur. Si ces deux cylindres sont moindres que la vue (l'espace interoculaire), le cylindre voisin ne cachera pas en entier le cylindre éloigné, et l'on apercevra des deux côtés quelque partie blanche du cylindre éloigné. On pourra ainsi, par divers essais, trouver des cylindres de grandeur telle que l'un soit exactement caché par l'autre. On aura donc la mesure de notre vue et un angle qui ne soit pas plus petit que le diamètre (apparent) du Soleil. Ayant enfin porté ces angles sur un quart de cercle, j'ai trouvé que l'un était moins que $\frac{1}{164}$, et l'autre plus que $\frac{1}{200}$. Il est donc démontré que le diamètre (apparent) du Soleil n'est pas moins que $\frac{90°}{164}$, et qu'il est plus que $\frac{90°}{200}$. »

Ainsi, d'après Archimède, le diamètre apparent du Soleil a moins que 32′ 56″ et plus que 27′ 0″, ce qui est parfaitement exact.

Le passage que nous venons de citer offre un triple intérêt. Premièrement, il montre l'état de la science d'il y a une vingtaine de siècles : on ne possédait alors aucun instrument capable de donner à cinq ou six minutes près (limite des résultats présentés) le diamètre apparent du Soleil. Secondement, il met en relief la rigueur que l'on cherchait à atteindre en se préoccupant de l'espace interoculaire ou de la différence des objets vus avec un seul œil ou avec les deux yeux. Troisièmement, on y voit les angles observés ou les cordes de ces angles porter sur un quart de cercle. Mais Archimède ne parle point de la division de cet arc ; il donne seulement à entendre que l'une des cordes y ayant été portée deux cents fois, l'arc se

trouvait épuisé, et que l'autre corde ne pouvait s'y placer que cent soixante-quatre fois.

Géminus. Posidonius. Cléomède.

Géminus, dont il est aussi parlé dans l'*Histoire des mathématiques*, a écrit une *Introduction aux Phénomènes*[1], Εἰσαγωγὴ εἰς τὰ φαινόμενα, qui fut imprimée pour la première fois, en grec et latin, par Hildericus, à Altorf, 1590, in-8°, et réimprimée à Leyde (1603, in-8°)[2]. Cette *Isagogé* ou Introduction est un traité d'astronomie qui contient, sous une forme très-abrégée, les principaux faits jusqu'alors acquis à la science. L'auteur commence par la description du zodiaque, divisé en *douze parties*, appelées *dodécatémories*, toutes égales en grandeur, et il insiste sur la définition exacte du mot *signe*, ζώδιον, qui signifie, à proprement parler, *petit animal*. « Ce mot, dit-il, a deux acceptions : l'une, par laquelle il signifie la dodécatémorie, qui est un intervalle fixe entre les étoiles ou des points ; l'autre, par laquelle il signifie un groupe d'étoiles (constellation), réunies suivant des ressemblances de figures d'animaux. » Il fait, en même temps, très-bien ressortir la distribution des astres sur différents plans qui peuvent être séparés entre eux par de grands espaces. « Il ne faut pas, dit-il, s'imaginer que tous les astres occupent une même surface, mais bien que les uns sont supérieurs et les autres inférieurs ; car, notre vue

1. Il est ici question des phénomènes du ciel, et non pas, comme l'ont cru quelques savants, du livre d'*Aratus*, intitulé *Phénomènes*.

2. Petau a réédité cet ouvrage dans son *Uranologium* (Paris, 1630, in-folio). L'édition la plus récente est celle de Halma (à la suite de son Ptolémée).

s'étendant toujours à une distance égale, est incapable de saisir aucune différence de hauteur. »

Il ne sera pas sans intérêt de faire connaître ici l'explication que Géminus donne de l'inégalité des séjours du Soleil dans les différents signes du zodiaque, pourquoi le Soleil met 94 $\frac{1}{2}$ jours à parcourir le *quadrant* ou le quart de cercle depuis le Bélier jusqu'au Cancer (depuis l'équinoxe du printemps jusqu'au solstice d'été), tandis qu'il n'emploie que 88 $\frac{1}{8}$ jours à parcourir le quart de cercle, depuis les Serres (Balance) jusqu'au Capricorne (depuis l'équinoxe d'automne jusqu'au solstice d'hiver)[1]. L'auteur rappelle d'abord, comme un principe indiscutable, que le mouvement propre du Soleil est, comme celui de la Lune et des planètes, uniforme et circulaire[2]. Or, les quarts de cercle du zodiaque étant égaux, pourquoi le Soleil le parcourt-il en temps inégaux? C'est parce que, répond Géminus, le Soleil se meut dans un plan situé au-dessous de celui du zodiaque, et que le centre du cercle solaire ne coïncide pas avec le centre du cercle zodiacal; puis il évalue à 1 degré l'écart entre ces deux centres. « C'est, dit-il, à cause de cet écart, que le cercle solaire se divise en quadrants d'arcs inégaux. Le plus grand arc est celui du quadrant qui commence au premier degré du

1. Voyez plus haut, p. 49 et 179.

2. Géminus nous apprend ici que ce sont les Pythagoriciens qui les premiers ont enseigné ce principe, qui devait pendant si longtemps entraver les progrès de l'astronomie. « Ils n'ont pas admis, dit-il, dans les corps célestes et éternels un désordre qui les ferait aller tantôt plus vite, tantôt plus lentement. On n'approuverait pas une semblable irrégularité dans la démarche d'un homme réglé et de bon sens. Il y a dans la vie bien des cas où il faut accélérer ou ralentir ses pas; mais il n'y en a aucun dans *la nature incorruptible des astres* (τὴν ἄφθαρτον φύσιν τῶν ἀστέρων). » — Voilà comment on se trompe quand on transporte ses conceptions et ses sensations dans un domaine qui n'est pas celui de la volonté humaine. C'est là une de ces innombrables corrections nécessaires, qui rentrent dans le grand *travail de rectification*, dont il est parlé dans *l'Homme devant ses œuvres* par Jean l'Ermite (Paris, 1872).

Bélier et finit avec le trentième degré des Gémeaux. Le plus petit s'étend depuis le premier degré de la Balance jusqu'à la fin du trentième degré du Sagittaire. Voilà pourquoi le Soleil, par son mouvement uniforme dans son orbite propre, parcourt des arcs inégaux dans des temps inégaux, le plus grand dans le plus de temps, le plus petit dans le moins de temps. Or, quand il parcourt le plus grand arc de son orbite, il parcourt le quart de cercle du zodiaque depuis l'équinoxe du printemps jusqu'au solstice d'été ; et en parcourant le plus petit arc de son orbite, il parcourt le quart de cercle du zodiaque depuis l'équinoxe d'automne jusqu'au solstice d'hiver. Donc, puisque les arcs inégaux de l'orbite solaire correspondent à des arcs égaux du zodiaque, il faut nécessairement que les temps écoulés depuis les solstices jusqu'aux équinoxes soient inégaux, le plus grand depuis l'équinoxe du printemps jusqu'au solstice d'été, le plus petit depuis l'équinoxe d'automne jusqu'au solstice d'hiver. Le mouvement du Soleil est donc toujours uniforme ; mais, à cause de l'*excentricité*[1] de l'orbite solaire, cet astre parcourt les quarts de cercle du zodiaque en des temps inégaux. »

On voit qu'il ne s'agissait dans cette explication — l'homme n'est jamais embarrassé pour expliquer quoi que ce soit — que d'une simple question de perspective : c'était une affaire d'optique. Et cela était admis par tous les astronomes jusqu'à Kepler, qui le premier s'attaqua victorieusement au monstre d'erreur.

Posidonius, astronome et philosophe stoïcien, naquit à Apamée, en Syrie, vers l'an 135 avant J. C. Il étudia à Athènes et ouvrit une école à Rhodes, espèce de succur-

1. N'oublions pas que pour Géminus, comme pour les anciens en général, l'*excentricité* était la *non-coïncidence* ou la non-concentricité du cercle solaire avec le cercle zodiacal, que le premier était, d'une certaine quantité, situé au-dessous du second.

sale d'Alexandrie. Cicéron était au nombre de ses disciples. On raconte que Pompée, revenant de la Syrie, voulut entendre Posidonius qui essayait de concilier les doctrines de Zénon avec celles de Platon, et qui, tourmenté par la goutte, s'écriait : « O douleur, tu ne me feras jamais avouer que tu sois un mal. »

Cléomède, Strabon et Pline nous représentent Posidonius comme un astronome habile, qui avait entrepris de mesurer la grandeur de la Terre et la distance de celle-ci au Soleil. A cet effet, il avait observé qu'à Rhodes la brillante étoile Canopus (étoile du ciel austral) ne faisait que raser l'horizon, au lieu qu'à Alexandrie elle s'élevait jusqu'à la quarante-huitième partie de la circonférence ou à sept degrés et demi. Il concluait de là que la distance d'Alexandrie à Rhodes était de sept degrés et demi (de latitude); puis il évalua leur distance directe, en plaçant ces deux villes sous le même méridien (ce qui était une erreur), à 5000 stades, d'où il portait la circonférence entière de la Terre à 240 000 stades. Ce n'était là qu'une simple approximation ; car, indépendamment de l'erreur de longitude, la distance de Rhodes à Alexandrie ne pouvait guère être exacte ; enfin, les phénomènes de réfraction, dont il aurait fallu tenir compte, étaient encore à découvrir. Mais, comme pour l'approximation donnée par Ératosthène, c'était un précieux indice de méthode à perfectionner.

Pour expliquer les phénomènes de la marée, Posidonius supposa, l'un des premiers, que les mouvements de l'Océan suivent ceux du ciel, et qu'ils ont des périodes diurnes, mensuelles et annuelles comme la Lune. Il avait aussi construit une sphère céleste, représentant le mouvement général et le mouvement propre des astres. De ses nombreux ouvrages il ne nous reste que des fragments, qui ont été réunis par James Bake, et publiés sous le titre de *Posidonii Rhodii reliquiæ;* Leyde, 1810.

Cléomède. L'époque à laquelle vivait cet écrivain as-

tronome est fort incertaine. D'un passage où il est dit que les étoiles les plus brillantes du Scorpion et du Taureau (Antarès et Aldébaran), diamétralement opposées l'une à l'autre (à 180° d'intervalle), occupent toutes deux le quinzième degré (Antarès le quinzième degré de l'hémisphère austral, et Aldébaran le quinzième degré de l'hémisphère boréal), Letronne a cru pouvoir conclure, par suite du mouvement de la précession des équinoxes, que Cléomède est moins ancien que Ptolémée. Mais les données sur lesquelles il s'appuie manquent d'exactitude. Il est plus probable que Cléomède vivait peu de temps après Posidonius, dont il était peut-être le disciple.

Nous avons de Cléomède un ouvrage intitulé : *Théorie circulaire des corps sublimes* (Κυκλικὴ θεωρία μετεώρων), en deux livres. Il parut d'abord en latin, à Venise, 1498, in-fol. (rare), dans un recueil d'ouvrages astronomiques. La meilleure édition (texte grec, avec la traduction latine de Balfour) a été donnée par F. Bake (Leyde, 1820, in-8°). Voici ce que nous y avons trouvé de plus saillant.

Le monde se compose du ciel, de la Terre et des *créatures* (φύσεις) qui s'y trouvent ; il contient tous les corps, et il n'y a rien en dehors du monde. Il n'est pas infini, mais fini. Si toute la matière était réduite en vapeur par le feu, elle occuperait un espace dix mille fois plus grand ; si ensuite cette vapeur venait à être condensée, elle prendrait un volume beaucoup moindre, en produisant un vide, qu'un autre corps viendrait aussitôt remplir. Il ne peut donc pas y avoir de vide dans le monde ; dans le vide *nos sens ne fonctionneraient pas* (ἐνεποδίζοιντο ἂν αἱ αισθήσεις).... La sphère céleste est divisée en cinq zones correspondant à celles de la sphère terrestre : 1° la zone arctique ; 2° la zone intermédiaire entre le tropique d'été et le cercle arctique ; 3° la zone du milieu, comprise entre les deux tropiques (d'été et d'hiver), et divisée en deux parties égales par la ligne équinoxiale ; 4° la zone intermédiaire entre le tropique d'hiver et le cercle antarctique ;

5° la zone antarctique. Les deux zones extrêmes (arctique et antarctique) sont inhabitables à cause de l'extrême froid, et la zone du milieu est inhabitée à cause de l'extrême chaleur. Les deux zones intermédiaires, ou tempérées, sont seules habitées; elles se divisent chacune en deux parties, dont l'une comprend les *Périèques* (περίοικοι), ou habitants opposés par les épaules, et l'autre les *Antipodes*, ou habitants opposés par les pieds.... Quant à la sphéricité de la terre, elle est appuyée sur d'excellents arguments, qu'on fait encore aujourd'hui valoir.

Les planètes se distinguent, suivant Cléomède, des étoiles fixes proprement dites en ce que, outre le mouvement général du ciel, elles ont un mouvement propre, comparable à celui d'un passager qui va de la poupe à la proue pendant que le navire sur lequel il se trouve, marche. « Les astres fixes, *non errants* (ἀπλανῆ), peuvent, dit l'auteur, être comparés aux passagers qui se tiendraient immobiles sur le même navire.... Les fixes sont innombrables. Quant aux planètes, il n'en est parvenu à notre connaissance que sept, et il y en a *probablement un plus grand nombre*. Le plus élevé (le plus éloigné du Soleil) des astres errants (planètes) s'appelle l'*Apparent*, Φαίνων; c'est l'astre de Saturne, qui met trente ans à faire sa révolution. Au-dessous de lui vient le *Brillant*, Φαεθὼν, l'astre de Jupiter, qui met douze ans à faire le tour du ciel. Au-dessous de lui est l'*Ignée*, Πυροεὶς, l'astre de Mars, moins régulier dans son mouvement, et qui paraît faire sa révolution en deux ans cinq mois. Puis vient le Soleil qui, occupant le milieu, met un an à faire sa révolution à travers le zodiaque en produisant les saisons et le nyctémère en tournant avec le monde. Au-dessous du Soleil vient l'astre de Vénus, qui se nomme *Hesperus* quand il suit le coucher du soleil, et *Lucifer* quand il précède le lever. Au-dessous de Vénus est l'astre de Mercure, nommé le *Scintillant*, Στίλβων. Enfin vient la Lune, qui est de tous les astres le plus rapproché de la Terre. Elle occupe les

confins de l'air et de l'éther; c'est pourquoi elle paraît comme un corps opaque, et son hémisphère éclairé emprunte sa lumière au Soleil; elle fait sa révolution en vingt-sept jours et demi. Tous ces astres errants ne parcourent pas indifféremment toutes les parties du ciel; ils se tiennent tous renfermés dans le zodiaque; c'est là qu'ils décrivent leurs orbites. »

Dans cet exposé sommaire, on remarque que la durédes mouvements révolutifs de Saturne et de Jupiter est aussi exacte qu'elle peut l'être quand on veut l'exprimer en chiffres ronds : 30 ans, au lieu de 29 ans 5 mois 16 jours pour Saturne; et 12 ans, au lieu de 11 ans 10 mois 17 jours pour Jupiter. Le mouvement révolutif de Mars présente seul un écart assez considérable : 2 ans 5 mois, au lieu de 1 an 10 mois 11 jours. Le Soleil, compté, comme la Lune, pour une planète, occupait la place de la Terre, et la Terre la place du Soleil (au centre du monde).

Les chapitres qui traitent du zodiaque, de l'écliptique, de l'inégalité des jours et des nuits, sont écrits avec la même clarté, à l'exception de certains passages, évidemment tronqués ou interpolés.

Cléomède s'attache ensuite à démontrer que la Terre, quelque grande qu'elle nous paraisse de près, n'est qu'un point comparativement à la grandeur du monde. « Si nous étions, dit-il, placés dans le Soleil, la Terre ne nous serait pas visible, à cause de sa petitesse, ou elle nous apparaîtrait comme une très-petite étoile. » Puis il soutient, contre l'opinion des Épicuriens, que le Soleil est beaucoup plus grand qu'il ne nous paraît à la simple vue.

Mais le passage le plus remarquable est relatif à la refraction de la lumière. Cléomède a le premier parlé, en termes explicites, de ce phénomène, si important en astronomie. « Le rayon de lumière qui nous arrive, dit-il, à l'œil quand le Soleil est à midi ou à son point culminant, ne se réfracte pas, tandis que le rayon du Soleil à l'horizon se réfracte en traversant l'air. C'est ainsi que des ob-

jets vus sous l'eau nous paraissent tout différents de ce qu'ils sont réellement. Il y a des grandeurs ou des distances apparentes, données par des cônes de rayons réfractés, et qu'il faut distinguer des grandeurs ou distances vraies. La vue humaine a donc des bornes, qu'il faut prendre en considération. »

En parlant des étoiles fixes, Cléomède dit que probablement elles sont aussi grandes que le Soleil, que quelques-unes d'entre elles sont peut-être plus grandes, et que si le Soleil était plus éloigné de nous, il aurait l'aspect d'une étoile fixe. « Quant à la Lune, elle est aussi, ajoute-t-il, plus grande qu'elle ne nous paraît. Elle opère dans l'air de grands changements, et tient sous sa dépendance beaucoup de choses qui se trouvent à la surface de la Terre ; c'est elle notamment qui est la cause permanente du flux et du reflux de la mer.... La Lune tourne autour de son axe en même temps qu'elle accomplit sa révolution autour de la Terre. Elle ne nous montre qu'une de ses faces éclairée et toujours la même. Sa lumière ne vient pas tout entière du Soleil : c'est un mélange de rayons solaires et de lumière propre. »

Cléomède a expliqué avec une clarté saisissante les éclipses de Lune et de Soleil. Il est à regretter qu'il n'ait rien dit des astres chevelus ou *comètes*.

D'après cette analyse succincte, il sera difficile, croyons-nous, d'admettre le jugement de Delambre, auquel adhère Letronne, savoir que « l'ouvrage de Cléomède est un traité élémentaire, composé par un ignorant pour le commun des lecteurs[1]. »

1. On a attribué à Cléomède un traité *De la Sphère*. Les manuscrits grecs, n°s 2180 et 2419, de la Bibliothèque nationale donnent, en effet, sous le nom de Cléomède, un traité *De Sphæra* (Κλειωμείδους Μέτρησις ἐν τοῖς σφαιρικοῖς τῶν οὐρανῶν). Mais nous nous sommes assuré que c'est tout simplement le second livre de la *Théorie circulaire* de Cléomède, auquel on a donné ce titre spécial. Voilà toute la cause de l'erreur.

CHAPITRE X.

SOSIGÈNE. — CALENDRIER ROMAIN. — RÉFORME JULIENNE.

D'origine grecque, *Sosigène* était né en Égypte. Nous ne savons rien de sa vie. Philosophe péripatéticien, il faisait partie du collége des astronomes d'Alexandrie quand il fut appelé à Rome pour aider Jules César dans la réforme du calendrier.

La nécessité d'une exacte mesure du temps a forcé les peuples les plus réfractaires à la culture scientifique à s'occuper d'astronomie ou à s'entourer du moins d'hommes qui avaient spécialement étudié les mouvements du Soleil et de la Lune, ces aiguilles de l'horloge céleste. Le barbare fondateur de Rome, qu'Ovide nous présente comme « connaissant mieux les armes que les astres »,

Scilicet arma magis quam sidera, Romule, noras,

Romulus avait fait l'année, on ne sait trop pourquoi, de 304 jours; car l'année, ainsi divisée (ne comprenant que dix mois), ne s'accordait ni avec le cours du Soleil, ni avec les révolutions de la Lune. C'est ce qu'avait déjà observé Macrobe. « Quand il arrivait, dit l'auteur des *Saturnales*, que le froid de l'année tombait dans les mois d'été et les chaleurs dans les mois d'hiver, on laissait

écouler autant de jours, sans parler d'aucun mois, qu'il en fallait pour rétablir la saison de manière que la température se trouvât convenir au mois courant. »

Quelle étrange intercalation! Comment les Romains ont-ils pu se tromper de plus de deux mois dans la constitution de leur année? — Numa ajouta, suivant Censorin, 51 jours à l'année de Romulus, ce qui la portait à 355 jours, ou à un jour de plus que l'année lunaire (qui est de 354 jours). Pourquoi cette addition d'un jour à l'année lunaire? Parce que 354 est un nombre pair, et que, comme tel, il passait pour moins heureux que le nombre impair, toujours réputé de bon augure : *numero Deus impare gaudet*[1]. L'intervalle de 354 jours et d'environ 9 heures comprend douze nouvelles lunes. Numa ajouta donc deux mois, janvier et février, *januarius* et *februarius*, aux dix mois de l'année de Romulus. Voici les noms et les durées des mois de l'année de Numa, dans leur succession primitive :

Januarius.....	29 jours.	*Sextilis*.......	29 jours.
Martius.......	31 —	*September*....	29 —
Aprilis.......	29 —	*October*.......	31 —
Maius........	31 —	*November*.....	29 —
Junius.......	29 —	*December*.....	29 —
Quintilis......	31 —	*Februarius*....	28 —

Le premier mois de l'année avait reçu, d'après le nom du dieu bicéphale Janus, le nom de *Januarius*, comme ayant, dit Macrobe, deux têtes qui regardaient à la fois la fin du passé et le commencement de l'avenir. Le février occupait primitivement, comme on voit, la fin de l'année; il ne fut que plus tard placé après le janvier. C'était le mois consacré, comme son nom l'indique, aux lustrations (*februalia*), où il était ordonné d'offrir des sacrifices (*feralia*) aux mânes :

Februa Romani dixere piamina patres[2].

1. Virgile, *Eclog*. 8.
2. Ovide, *Fast*. II.

Le mois commençait le jour de la Nouvelle Lune ou plutôt le jour où la Lune redevenait visible sous la forme d'un croissant. Et comme elle ne commence pas à réapparaître toujours au même jour, mais tantôt plus tôt, tantôt plus tard, le mois recevait, dans le premier cas, plus de jours, et, dans le dernier, moins. D'où il advint que les mois avaient les uns trente et un jours, les autres vingt-neuf.

Chaque mois était ensuite divisé en trois périodes, appelées *Calendes*, *Nones* et *Ides*. Les *Ides* (probablement une corruption du mot grec διχομήνια, *moitié du mois*) répondaient à peu près à la Pleine Lune ou au milieu du mois (commencé à la Nouvelle Lune) ; elles donnaient leur nom au quinzième jour dans les mois de trente et un jours, et au treizième dans les autres. Les *Nones* désignaient le septième jour pour les mois de trente et un jours, et le cinquième pour les autres ; elles tiraient sans doute leur nom de *nonæ* (neuvième) de ce qu'elles tombaient le neuvième jour avant les Ides inclusivement. En effet, dans l'origine, les jours *avant les Ides* étaient comptés régressivement jusqu'aux Calendes, et, arrivé ainsi jusqu'au neuvième jour en arrière, on disait *nonæ*, au lieu de A. D. (*ante diem*) IX *Idus* (avant le neuvième jour des Ides). Quant au mot Calendes, *calendæ*, il paraît venir du grec καλῶ, *j'appelle*, « parce que, dit Macrobe, l'aide du pontife était chargé d'observer le *premier aspect* (croissant) de la Nouvelle Lune, et, dès qu'il l'avait vu, de l'annoncer au pontife ; celui-ci, les sacrifices achevés, appelait le peuple au Capitole pour lui annoncer le nombre de jours qu'il devait, à partir de ce moment (Calendes ou premier du mois), compter pour arriver jusqu'aux Nones : il prononçait, à cet effet, cinq fois le mot καλῶ, s'il n'y avait que cinq jours à compter, et sept fois, s'il en fallait sept[1]. » Cette manière bizarre, extravagante, de

1. Macrobe, *Saturnal.*, I, 19.

compter les jours *avant* les Ides, *avant* les Nones, *avant* les Calendes, composait le *Calendrier*, que, suivant Macrobe, les Romains auraient emprunté aux Grecs.

Rien n'est plus embrouillé que le récit, donné par les historiens, des différentes tentatives qui ont été faites pour mettre ici la Lune d'accord avec le Soleil, pour concilier, en un mot, l'année lunaire avec l'année solaire. Aussi que d'incertitude dans la chronologie des rois de Rome! Enfin, après bien des tâtonnements, il fut convenu d'intercaler, à l'exemple des Athéniens, 90 jours dans un laps de huit ans : c'était l'*octaëtéride* des Grecs. De ces 90 jours on faisait, non pas trois mois de trente jours chacun, mais quatre mois, alternativement de vingt-deux et de vingt-trois jours ($22 + 23 + 22 + 23 = 90$). Ces mois intercalaires, qui s'appelaient chacun *markedonios* ou *mercedonius*, changèrent toute l'économie de l'année; il n'y restait plus rien d'une année lunaire : les Calendes ne correspondaient plus aux Nouvelles Lunes, ni les Ides aux Pleines Lunes. Les Romains, il est vrai, ne s'en inquiétaient guère, parce que leurs fêtes n'étaient pas, comme celles des Grecs, liées aux phases de la Lune.

Mais cette correction du Calendrier laissait beaucoup à désirer. En empruntant aux Grecs l'octaétéride, les Romains oubliaient que leur année lunaire était d'un jour trop longue. Il en résultait que le commencement de l'année romaine, qui devait coïncider avec la *bruma* (brouillard) ou le jour le plus court de l'année (21 décembre), était, après quatre intercalations de *merkedonios*, de huit jours éloigné de ce terme. Pour remédier à ce désordre, les pontifes imaginèrent des périodes arbitraires, et donnaient aux mois intercalaires le nombre de jours nécessaire dans certaines conditions. Le Calendrier devint ainsi un moyen de fraude et de corruption. Abusant de leur pouvoir discrétionnaire, les pontifes, chefs du collége des augures, prolongeaient, comme nous l'apprend Cicéron, la durée de la magistrature de leurs partisans; ils

faisaient, suivant leurs intérêts, avancer ou retarder les échéances des engagements des débiteurs envers les créanciers; ils contribuaient à augmenter ou à diminuer les bénéfices des fermiers du fisc par la fixation de la rentrée des impôts, etc. L'ignorance et la fraude manœuvrèrent si bien, qu'on en était arrivé à célébrer les fêtes de la moisson, *æstivalia*, en hiver (c'est-à-dire dans les mois primitivement désignés pour ceux de l'hiver), et les fêtes des vendanges au printemps.

Tel était l'état des choses quand César, en sa qualité de grand pontife, *pontifex maximus*, résolut d'y porter remède. Pour opérer cette réforme, il consulta les mathématiciens et les astronomes de son temps, comme le fit, quinze siècles et demi plus tard, un autre pontife, au grand profit pour le progrès de la science.

Parmi les plus habiles conseillers astronomes de César, Pline cite Sosigène, qui avait, suivant Simplicius, commenté le livre d'Aristote *De Cœlo*. Le but du dictateur était d'établir une intercalation simple, régulière, invariable, propre à prévenir des désordres pareils à ceux dont il était témoin. « La confusion était, rapporte Censorin, arrivée à un tel degré, que Jules César, grand pontife, dans son troisième consulat, pour corriger l'arriéré, inséra deux mois intercalaires entre novembre et décembre, après avoir déjà intercalé vingt-trois jours dans le mois de février, et qu'il fit une année de 445 jours. » C'était l'année 708 de la fondation de Rome ou l'an 46 avant la naissance de J. C. Elle s'appelait *l'année de la confusion*.

L'année solaire égyptienne, de trois cent soixante-cinq jours et un quart, fut prise pour base de la *réforme julienne*, qui commença par supprimer le mois *mercedonius*. Mais comment faire pour régler l'année usuelle, civile, sur une période contenant un jour fractionnaire? Supposons qu'on eût voulu commencer la première année du nouveau Calendrier le 1er janvier à minuit. A rai-

son du quart de jour à ajouter à trois cent soixante-cinq jours pleins, la deuxième année aurait commencé le 1er janvier à six heures du matin ; la troisième année, à midi ; la quatrième, à six heures du soir. Ce n'est qu'après une période de quatre ans révolus que l'année serait revenue à minuit, en commençant alors, non plus le 1er, mais le 2 janvier. Le système d'une année, dont le commencement aurait été variable avec la date, dut donc être rejeté, et il fallut revenir au système intercalaire.

Voici cette intercalation qui fait tout le mérite du Calendrier julien. Le quart de jour formait au bout de quatre ans un jour entier ; c'est ce jour-là qui fut intercalé tous les quatre ans au mois de février. Mais ici se présente une particularité caractéristique. Rien n'aurait été plus simple que de porter, dès l'origine, comme cela se fait aujourd'hui, le nombre des jours de février de 28 à 29 dans les années d'intercalation. Mais les Romains auraient cru commettre un sacrilége en changeant le caractère religieux du mois des lustrations. Laissant donc au mois de février le nombre primitif, consacré, de 28 jours, ils imaginèrent de doubler le sixième jour avant les Calendes de mars, le *sexto-calendas* (pour *sexto die ante calendas*), le jour de la fête du Régifuge, célébrée en mémoire de l'expulsion de Tarquin. En doublant ce jour, sous le nom de *bissexto-calendas*, on donnait au février en réalité vingt-neuf jours, au lieu de vingt-huit, mais le principe était sauvé. C'est ainsi que, dans toutes les religions, « il est avec le ciel des accommodements. » Voilà comment s'explique le nom de *bissextile*, donné à toute année intercalaire. En même temps, deux mois, le *Sextilis* et le *Décembre*, furent élevés à la dignité de *menses majores*, de grands mois, c'est-à-dire que le nombre de leurs jours fut porté, pour chacun, à trente et un. Ainsi, au lieu de cinq, il y eut désormais sept mois comptant chacun trente et un jours.

Cette importante réforme du Calendrier romain tombe

dans l'année 45 avant Jésus-Christ (l'an 709 de la fondation de Rome); elle ne précéda guère que d'un an la mort de César. C'est la première des années dites *juliennes*. Les désordres signalés cessèrent. Marc-Antoine, alors consul, fit décréter que, pour perpétuer le souvenir d'un pareil bienfait, le mois *Quintilis*, dans lequel Jules César était né, recevrait le nom de *Julius* (juillet).

Les pontifes successeurs de César, chargés de l'application du Calendrier nouveau, commirent une grave erreur, malheureusement très-commune à beaucoup de chronologistes, en comptant 1, comme si l'année était déjà révolue, au lieu de compter 0, le moment précis du commencement de la période inaugurée par le Calendrier julien. Partant de là, ces graves personnages, qui n'hésitaient pas à prédire l'avenir sur le vol d'un oiseau ou sur l'inspection des entrailles d'une victime, faisaient revenir les années *bissextiles* ou intercalaires après une période *triennale*, comme si $\frac{1}{4}$ de jour multiplié par 3 pouvait donner un jour entier. Ils se trompèrent ainsi pendant trente-six ans. Ce n'est qu'après ce laps de temps qu'on s'aperçut qu'il y avait entre l'année égyptienne et l'année réformée une différence de *trois jours*. L'erreur n'aurait peut-être pas été commise si Sosigène était resté à Rome pour surveiller l'application de la réforme julienne. Auguste y remédia en ordonnant qu'il n'y aurait pas d'année bissextile pendant les douze années suivantes. Ce fut alors que le sénat, pour perpétuer le souvenir de cette correction, donna, par un décret, le nom d'*Augustus* (août) au mois *Sextilis*.

Tibère, Claude, Néron voulurent aussi avoir leurs noms inscrits dans le Calendrier. « Heureusement, fait remarquer Fr. Arago, le monde n'a pas eu à souffrir de cette ignominie. » Nous ajouterons que si le monde n'avait à souffrir, de la part des despotes, d'autres ignominies que des changements de noms du calendrier, les

nations n'auraient qu'à s'en féliciter : l'histoire se composerait de moins de pages sanglantes ou immorales.

Agrippa. — Ménélaus. — Théon de Smyrne.

(Premier et second siècle de l'ère chrétienne.)

Agrippa n'est connu que par une observation astronomique citée par Ptolémée. Dans la douzième année du règne de Domitien, le septième jour du mois bithynien Métroüs, il observa l'occultation d'une partie des Pleïades par la corne méridionale de la Lune [1].

Domitien ayant été proclamé empereur en l'an 81 après J. C., c'est donc en 93 que fut faite cette observation, qui avait probablement pour but de vérifier la précession des équinoxes, découverte par Hipparque.

Diogène de Laerte cite un Agrippa parmi les philosophes comme auteur d'un traité sur les cinq fondements du doute. Peut-être cet auteur est-il le même que l'astronome Agrippa.

Ménélaüs, cité par Ptolémée, par Proclus et Pappus, fit des observations astronomiques à Rome sous le règne de Trajan, à la fin du premier siècle de notre ère. C'est probablement de lui qu'il est question dans le dialogue de Plutarque, *De facie in orbe Lunæ*. Nous n'avons de lui qu'un Traité *De la Sphère*, en trois livres, dans une traduction latine, faite par Maurolycus sur une version arabe. Le texte grec est perdu. Cette traduction parut, avec les Sphériques de Théodose, à Messine, 1558, in-fol. Le P. Mersenne l'a reproduite dans son *Universæ geometriæ synopsis*, Paris, 1644, in-4°. Halley légua les matériaux

1. Ptolémée, *Almageste*, VII, 3.

d'une nouvelle édition, qui fut publiée par Costard, sous le titre de *Menelai Sphæricorum libri tres*, *quos olim*, *collatis Mss. hebræis et arabicis*, *typis exprimendos curavit E. Hallejus*, etc., Oxford, 1758, in-8°. On y trouve plusieurs propositions fondamentales, à côté de vues qui n'ont qu'un intérêt spéculatif.

Théon de Smyrne, qu'il ne faut pas confondre avec Théon d'Alexandrie, cité par Plutarque, vivait sous le règne d'Adrien. Il était platonicien. Ptolémée cite de lui des observations de Mercure et de Vénus, faites dans les années 129 à 132 de J. C.

Théon de Smyrne a écrit un Traité d'astronomie, qui a été publié pour la première fois (texte grec et traduction latine) par M. Th. H. Martin, sous le titre : *Theonis Smyrnæi Platonici Liber de Astronomia* (Paris, 1849, in-8°). C'est une sorte de Commentaire ou plutôt de Guide à l'usage de ceux qui veulent s'initier à l'astronomie de Platon. L'auteur commence par poser en principe la sphéricité du monde, et il en déduit, en partie, la sphéricité de la Terre, dont l'équateur et les pôles s'identifient avec ceux du monde. Pour mieux démontrer encore la sphéricité de la Terre, il n'a garde d'oublier les preuves tirées de la forme de l'ombre (de la Terre) dans les éclipses de Lune, et de la disparition successive d'un navire qui s'éloigne des côtes. D'après les données d'Ératosthène, il évaluait les plus hautes montagnes à environ la huit-millième partie du diamètre terrestre.

Au reste, nous n'avons trouvé dans le livre de Théon que des détails connus et reproduits par d'autres. Le chapitre XL, où l'auteur fait succinctement connaître les principaux fondateurs de l'astronomie, offre cependant quelque intérêt. On y voit que nous devons à Œnopide l'invention du zodiaque et la variation de la grande année, à Thalès l'explication des éclipses solaires, et le fait de l'inégalité du mouvement du Soleil d'un

solstice à l'autre ; qu'Anaximandre a le premier enseigné que la Terre est librement suspendue dans l'espace, et qu'elle *se meut autour du centre du monde* (κινεῖται περὶ τὸ τοῦ κόσμου μέσον) ; enfin, qu'Anaximène a le premier montré que la Lune reçoit sa lumière du Soleil et a fait connaître la cause des éclipses lunaires.

Le Livre d'astronomie de Théon est surtout précieux en ce que, indépendamment de divers fragments de Pythagore, d'Ératosthène, etc., il contient des citations d'astronomes inconnus, tels que Adraste, Dercyllide, Alexandre l'Étolien, etc.

Les fragments de George *Pachymère* et de *Chalcidius*, que M. Th. H. Martin a publiés, également pour la première fois, à la fin de son édition de Théon de Smyrne, peuvent servir de commentaires à plusieurs passages de Ptolémée.

CHAPITRE XI.

PTOLÉMÉE.

(Second siècle de l'ère chrétienne.)

La vie de Claude *Ptolémée* est tout entière dans ses travaux. Si nous n'avions pas la date des observations astronomiques qu'il faisait à Alexandrie en l'an 139 de l'ère chrétienne, nous ne saurions pas même à quelle époque, ni dans quelle ville il vivait. En réunissant les matériaux épars de la science, Ptolémée fut pour ainsi dire l'exécuteur testamentaire d'Hipparque. Ces matériaux se trouvent consignés dans un ouvrage célèbre, intitulé Μαθηματικὴ σύνταξις, *Composition mathématique*, plus connu sous le titre d'*Almageste*, nom hybride, formé de l'article arabe *al* et du superlatif grec μέγιστος, *très-grand*. Le nom d'*Almageste* signifie donc, en style oriental, le *Livre très-grand*. Avant de paraître en grec, ce livre fut d'abord traduit en arabe par Ishac-ben-Honaïm vers le milieu du neuvième siècle de notre ère ; puis au treizième siècle il fut traduit de l'arabe en hébreu par des Juifs espagnols. Sans le besoin qu'on eut d'une détermination plus exacte de la fête de Pâques, le texte grec de l'*Almageste* aurait été probablement perdu.

Le livre de Ptolémée devait, en effet, être souvent consulté dans la question des fêtes mobiles, qui divisait l'Église dès son origine. Boëce le traduisit le premier en latin, et l'empereur Frédéric II en fit faire, vers l'an 1230, une nouvelle version latine d'après le texte arabe. Mais ce n'est guère que depuis l'invention de l'imprimerie qu'on a eu une connaissance exacte de l'ouvrage de Ptolémée. Pierre Lichtenstein fit imprimer à Venise la version latine de l'*Almageste* arabe, dont les exemplaires sont devenus excessivement rares. Les noms arabes des étoiles y remplacent les noms grecs, et se sont ainsi perpétués jusqu'à nos jours. Telle est l'origine des noms arabes des étoiles de première et de deuxième grandeur dans les principales constellations du ciel. Un abrégé de cette version, revu et corrigé par Purbach et J. Regiomontanus (Jean de Kœnigsberg), parut à Venise en 1496, et fut réimprimé à Nuremberg en 1550. Enfin, ce ne fut qu'en 1538 que parut la première édition du texte original grec de Ptolémée, à Bâle, in-fol., par les soins de Grynæus. Le manuscrit dont s'était servi Grynæus, avait été donné à la bibliothèque de Nuremberg (où il ne se trouve plus) par Regiomontanus, qui le tenait du cardinal Bessarion. Le texte grec a été reproduit, avec d'autres écrits de Ptolémée, par J. Gemusæus (Bâle, 1541 et 1551, in-fol.)[1].

C'est dans l'*Almageste* qu'on trouve l'exposition de ce qu'on appelle inexactement le *système de Ptolémée;* car c'est là le système primitif, fondé sur le sens commun, sur ce même sens commun que des philosophes modernes ont voulu prendre pour base de leurs doctrines. Ptolémée n'a fait que le reproduire et le développer. Ce système s'est tellement identifié avec le langage et les idées traditionnels, que l'on dit encore aujourd'hui que le Soleil

1. La meilleure édition de Ptolémée, dédiée à Louis XVIII, est celle de Halma; Paris, 1813 et 1816, 2 vol. in-4°. Le texte grec, accompagné d'une traduction française, a été soigneusement collationné sur les manuscrits originaux de la Bibliothèque nationale de Paris.

marche, qu'il *se lève*, qu'il *se couche*, etc., absolument comme si la Terre était immobile au centre du monde. Si l'ignorant, qu'il faudrait toujours chercher à instruire, admet que la Terre tourne autour du Soleil, c'est que, ne nous faisons pas illusion, il veut bien croire les savants sur parole. Il est si difficile de faire comprendre un phénomène qui est en opposition directe avec le sens de la vue !

Le *système de Ptolémée*, — laissons-lui ce nom, — se présente donc appuyé à la fois sur l'assentiment du genre humain, sur le témoignage du premier de nos sens, et sur la sanction du temps, puisque c'est de tous les systèmes le plus ancien. Quelle est la théorie qui pourrait invoquer, avec autant de force, cette triple autorité ! Et pourtant ce qui depuis de longs siècles brillait aux yeux de tous comme une incontestable vérité, n'était qu'une pure illusion. Chose étrange ! On ne se douterait guère que le système qui devait à la fin triompher est peut-être aussi ancien que celui de Ptolémée. Mais quelle différence dans la marche de l'un et de l'autre système ! On dirait deux courbes qui se développent, par un mouvement très-inégal, en sens inverse l'une de l'autre. Dès son origine, l'erreur (le faux système du monde) s'avance avec une audace d'affirmation qui ne souffre pas de réplique, et enlève la presque unanimité des suffrages. La vérité (le vrai système du monde), au contraire, ne se hasarde d'abord que timidement au milieu des sarcasmes ou des violences qu'il rencontre ; on ne sait pas même au juste d'où le vrai système du monde émane ; car ni Pythagore, ni Philolaüs, ni Aristarque de Samos, ni Hicetas, etc., n'en revendiquent la paternité. L'idée que la *Terre tourne* était une de ces inspirations qui, tour à tour abandonnées et reprises, semblent d'abord vouloir se soustraire à la possession des mortels. Enfin, après bien des siècles d'oubli ou de dédain, le cardinal Nicolas de Cusa, — un prince de l'Église ! — remit le mouvement de la Terre sur le tapis, à l'époque même où l'associé de Faust, Guten-

berg inventa l'imprimerie; et bientôt Copernic, un chanoine, — malice du sort! — fit, comme nous verrons plus bas, triompher définitivement l'idée païenne.

Ptolémée, non-seulement connaissait l'idée qui forme aujourd'hui la base de l'astronomie, mais il la combat avec vivacité par des arguments qui ont été en tout temps reproduits. Voici son entrée en matière. « Nous essaierons, s'écrie-t-il magistralement, d'expliquer les phénomènes du ciel en prenant pour principe ce qui est évident, réel et certain. » C'est là une déclaration de principe catégorique, péremptoire, et tout à fait semblable à celle que fit, quinze siècles plus tard, Descartes dans son *Discours de la Méthode:* elle ne laissait pas la moindre place au doute. Ptolémée se propose, dans sa *Composition mathématique* (*Almageste*), de suivre la méthode rigoureuse de la géométrie : il veut procéder par voie de démonstration. Quel enseignement!

Mais écoutons-le bien, ce prince de la science : « La Terre ne peut point, dit-il, être transportée obliquement (mouvement de translation); car, si cela était, on verrait arriver tout ce qui aurait lieu si elle occupait un autre point que le milieu du monde. » Or Ptolémée s'était efforcé de démontrer « que, si la Terre n'occupait pas le centre du monde, l'ordre que nous voyons s'observer dans le décroissement et l'accroissement alternatifs des jours et des nuits serait troublé et interverti; les éclipses de Lune ne pourraient pas se faire pour toutes les parties de la Terre, etc. [1]. » Enfin il serait trop long de reproduire ici toutes les raisons, plus ou moins spécieuses et la plupart incompréhensibles, que Ptolémée met en avant contre le *mouvement de translation* ou *annuel*, qu'il commence d'abord par nier hardiment.

Quant au *mouvement diurne* (mouvement de rotation), il le traite tout bonnement d'invention ridicule,

1. *Almageste*, I, 1

bien qu'il n'en conteste pas la simplicité[1]. « Si l'on alléguait, dit-il entre autres, que l'atmosphère est emportée avec la même vitesse que la Terre dans sa rotation, il n'en serait pas moins vrai que les corps qui y sont contenus n'auraient pas la même vitesse. » Cet argument, qui n'a aucune valeur scientifique, est vraiment curieux sous la plume du même écrivain, qui consacre un chapitre entier à démontrer que la Terre n'est qu'un point de l'univers (le point central, il est vrai), et qui se moque agréablement de ceux qui supposent à la Terre un support. « Ceux qui regardent, dit-il, comme un paradoxe qu'une masse telle que la Terre ne soit appuyée sur rien, ni emportée par aucun mouvement, se trompent en raisonnant d'après leurs petites sensations, et non point suivant l'aspect de l'univers. Cela ne leur paraîtrait plus une merveille s'ils savaient que la Terre, malgré sa grosseur, n'est pourtant qu'un point, comparativement à l'étendue de l'univers qui la contient. » On ne saurait mieux raisonner. Malheureusement, après ces échappées lumineuses, l'auteur retombe dans les mêmes ténèbres. S'appuyant sur la géométrie, il continue à dogmatiser superbement. Défions-nous des affirmations par trop magistrales!

En niant le double mouvement de translation et de rotation de la Terre, Ptolémée sacrifia, selon l'universel caractère humain, la réalité à l'apparence. Sans doute, tant qu'on se tient renfermé dans le cadre du double mouvement diurne et annuel, il est indifférent de croire que c'est le Soleil qui se meut ou que c'est la Terre qui tourne et se déplace : tous les phénomènes contenus dans ce cadre s'expliquent très-bien d'après l'une comme d'après l'autre croyance. Mais il y a d'autres phénomènes, tels que la précession des équinoxes, les stations et

1. Voyez plus haut, p. 14.

les rétrogradations des planètes supérieures, qui auraient dû mieux faire ouvrir les yeux à Ptolémée.

Ce n'est pas seulement par les illusions de la vue, non rectifiées par l'intelligence, c'est encore par l'esprit de dogme traditionnel que l'auteur de l'*Almageste* s'est laissé subjuguer. L'inégalité du mouvement du Soleil, découverte par Hipparque, n'était aux yeux de Ptolémée qu'une *anomalie*[1] apparente, comme elle l'avait été aux yeux de Géminus. L'auteur de l'*Almageste* poussa à l'excès les hypothèses qui avaient été jusqu'alors émises pour sauver les dogmes sacro-saints du cercle et du mouvement uniforme. « Pour expliquer, dit-il, ce qu'on entend par *anomalie apparente* du Soleil, il faut d'abord admettre, en principe, que les mouvements des planètes, suivant l'ordre des signes du zodiaque, ainsi que le mouvement de totalité en sens contraire (mouvement de rotation), sont naturellement uniformes et circulaires, c'est-à-dire que les lignes droites (rayons) à l'extrémité desquelles on imagine faire circuler les astres, font toujours entre elles, aux centres des circonférences décrites, des angles égaux dans des temps inégaux. Les anomalies apparentes sont les effets de la position et des arrangements des cercles mêmes où ces mouvements s'accomplissent; et dans le désordre que pourrait faire supposer l'aspect des phénomènes, il n'y a rien de contraire à l'immutabilité qui convient à leur essence. La cause de ces apparentes anomalies peut s'expliquer par deux hypothèses fondamentales et simples [2]. »

Les deux hypothèses auxquelles Ptolémée fait ici allusion, sont celle de l'*excentrique*, proposée par Géminus, t celle des *épicycles*, imaginée par Ptolémée lui-même.

1. Rappelons une fois pour toutes que le mot grec *anomalie*, employé par les astronomes anciens, signifie tout simplement *inégalité*, mot exclusivement employé par les astronomes modernes.

2. *Almageste*, III, 3.

Mais, déjà dans l'esprit de leur inventeur, les épicycles ne devaient servir qu'à rendre compte des inégalités apparentes, surtout des stations et des rétrogradations des planètes. Quant à l'inégalité du mouvement (l'anomalie apparente) du Soleil, l'hypothèse de l'excentrique pouvait suffire. « Il est plus rationnel, dit Ptolémée, de s'attacher ici à l'hypothèse de l'excentrique, parce qu'elle est plus simple et qu'elle ne suppose qu'un seul et non deux mouvements. » Puis il rappelle qu'Hipparque, avec les données de $94\frac{1}{2}$ jours (intervalle entre l'équinoxe du printemps et le solstice d'été) et de $92\frac{1}{2}$ jours (intervalle entre le solstice d'été et l'équinoxe d'automne), avait trouvé l'excentricité égale à $\frac{1}{24}$ environ du rayon de l'excentrique, et le lieu de l'apogée moins avancé que le solstice d'été de $24^0\ 30'$.

Ptolémée trouva, pour les deux intervalles et l'excentricité, sensiblement les mêmes nombres. « Nous trouvons à présent encore, dit-il, que ces temps et ces rapports sont toujours les mêmes[1], ce qui nous prouve que le cercle excentrique du Soleil garde toujours la même position relativement aux solstices et aux équinoxes.... Mais, ajoute-t-il, pour ne pas passer légèrement sur cet objet, nous allons en soumettre les détails à nos calculs, dans l'hypothèse du cercle excentrique, en nous servant des mêmes données qui sont, je le répète, que le temps qui s'écoule depuis l'équinoxe du printemps jusqu'au solstice d'été est de $94\frac{1}{2}$ jours, tandis que le temps qui s'écoule depuis ce solstice jusqu'à l'équinoxe d'automne n'est que de $92\frac{1}{2}$ jours. Or, par nos observations les plus exactes de l'équinoxe du printemps et du solstice d'été, faites dans la 463e année depuis la mort d'Alexandre[2], nous trouvons que le nombre de jours des

1. D'Hipparque à Ptolémée il s'était écoulé environ trois cents ans.

2. Année 140 après J. C. Nous voyons, par ce passage de Ptolémée, que la date de la mort d'Alexandre le Grand, arrivée en 323 avant J. C.,

intervalles s'accorde bien, puisque l'équinoxe d'automne étant arrivé le 9 du mois d'Athyon après le lever du Soleil, et celui du printemps le 7 du mois de Pachon après midi, l'intervalle est ainsi de 178 $\frac{1}{4}$ jours ; et le solstice d'été étant arrivé le 11 du mois de Mesoré après minuit d'avant le 12, l'intervalle de l'équinoxe du printemps au solstice d'été embrasse 94 $\frac{1}{2}$ jours ; restent donc à peu près 92 $\frac{1}{2}$ jours pour l'intervalle du solstice d'été à l'équinoxe d'automne [1]. »

Entraîné par l'esprit de système, Ptolémée écarte ici subrepticement la principale difficulté de la question qu'il s'était proposé de résoudre. Il s'est, en effet, bien gardé de se demander pourquoi le Soleil ne met que 178 $\frac{1}{4}$ jours pour aller de l'équinoxe d'automne à l'équinoxe du printemps, en passant par le solstice d'hiver, tandis que le même astre met 187 ($94\frac{1}{2} + 92\frac{1}{2}$) jours pour aller de l'équinoxe du printemps à l'équinoxe d'automne, en passant par le solstice d'été : la différence était cependant assez considérable pour devoir fixer l'attention de l'auteur. Aussi est-il complétement inutile de le suivre dans un dédale d'explications fort obscures. Ptolémée s'est trompé, parce qu'il n'a voulu, — c'était son idée, — voir qu'un fait d'optique ou de distance dans l'inégalité du mouvement solaire. Mais pour que cette manière de voir eût été admissible, il aurait fallu que le changement de vitesse fût proportionnel au changement de distance. Or cela est positivement démenti par l'observation : le changement de vitesse est plus grand que ne le comporte le changement de distance, indiqué par les variations du diamètre solaire. L'erreur radicale de Ptolémée fut pourtant maintenue comme un dogme jusqu'à l'époque où Kepler la fit évanouir en découvrant les lois qui ont immortalisé son nom.

était le commencement d'une ère dont se servaient les astronomes d'Alexandrie.

1. *Almageste*, III, 4.

Stations et rétrogradations. Théorie des épicycles d'après Ptolémée.

Pour comprendre comment une planète supérieure, telle que Jupiter et Saturne, qui se meut de l'occident à l'orient (*mouvement direct*), peut tout à coup devenir stationnaire, puis revenir sur elle-même, aller de l'orient à l'occident (*mouvement rétrograde*), pour redevenir stationnaire, et reprendre son mouvement direct, et continuer ce manége, jusqu'à ce que la planète ait fait tout le tour du ciel; pour comprendre enfin ces phénomènes de station et de rétrogradation alternatifs, il faut quitter un instant le cercle étroit des idées de l'antiquité, et bien nous graver dans l'esprit que nous observons les astres, comme tous les phénomènes célestes, de la surface d'un globe perpétuellement mobile, de la surface d'une planète qui elle-même se déplace en tournant avec les autres planètes autour d'un centre commun. Un homme qui, tournant autour d'un point marqué, verrait en même temps d'autres hommes, occupant des cercles de plus en plus grands, concentriques, tourner autour de ce même point pris pour centre, pourra se faire une idée exacte des stations et des rétrogradations. Il comprendra aussi que ces phénomènes doivent disparaître pour un observateur placé au centre du Soleil, preuve évidente que ces moments d'arrêt et de mouvements alternatifs en sens contraire ne sont que les effets d'une illusion optique, due à la place mobile qu'occupe l'observateur.

Voyons maintenant les embarras qu'éprouvaient les anciens en présence de ces mêmes phénomènes, par cela seul qu'ils croyaient la Terre immobile au centre du monde. « Lorsque les planètes qui ont, dit Vitruve, leurs cours au-dessus du Soleil (planètes supérieures), sont en

trine aspect avec lui (à 60° et à 120°), elles n'avancent plus, mais s'arrêtent et rétrogradent jusqu'à ce que le Soleil quitte cet aspect, en passant dans un autre signe. Cela se fait, suivant l'opinion de quelques-uns, parce que le Soleil, étant alors fort éloigné de ces astres, ne les éclaire plus dans leur marche; l'obscurité les empêche d'avancer, et ils s'arrêtent. » — Ce n'était pas là précisément l'opinion de Vitruve ; car il croit que l'éclat du Soleil resplendit et pénètre toute l'étendue du ciel, sans que rien puisse l'obscurcir, puisqu'il brille même à nos yeux lorsque les planètes font leur mouvement rétrograde et s'arrêtent. « Or, si, à une grande distance du Soleil, nous, faibles mortels, nous pouvons, dit-il, en voir la lumière, comment admettre que ces astres, qui sont des êtres divins et resplendissants, puissent se trouver dans l'obscurité ? » — Son opinion à lui, Vitruve l'expose en ces termes : « De même que la chaleur fait pousser et attire à elle toutes les choses, comme nous le montrent les graines qui, grâce à la force de la chaleur, germent et s'élèvent au-dessus de la Terre, et comme nous le voyons par les vapeurs qui surgissent des fontaines et s'élèvent jusqu'aux nues par le moyen de l'arc-en-ciel, de même le Soleil, lorsque ses rayons s'étendent en trigone, attire par son ardeur les astres qui le suivent, modère ceux qui le devancent, les arrête, les empêche d'avancer, les fait revenir et rentrer dans le signe d'un autre trigone. Pourquoi le Soleil fait-il sentir l'action coercitive de sa chaleur plutôt dans le cinquième signe que dans les deuxième et troisième, qui sont plus rapprochés de lui ? Voici comment je me l'explique. Les rayons du Soleil (c'est toujours Vitruve qui parle), pour former un triangle équilatéral, ne doivent s'étendre dans le ciel ni plus ni moins que jusqu'au cinquième signe. Si ces rayons se répandaient circulairement sur toute la sphère céleste, s'ils n'étaient pas retenus dans leur extension par la forme d'un trigone, les corps les plus rapprochés seraient embrasés. C'est ce que semble avoir re-

marqué Euripide, quand il dit que les objets sont d'autan plus fortement échauffés par le Soleil qu'ils s'en trouvent plus éloignés. » — Voilà comment l'homme se débat dans l'erreur, quand il s'est écarté du chemin de la vérité.

C'est par des cercles se mouvant sur d'autres cercles, c'est, en un mot, par des *épicycles*, que Ptolémée essayait de rendre compte des stations et des rétrogradations des planètes, ou de ce qu'on appelait la *seconde anomalie*, bien différente de la *première anomalie*, qui comprenait les inégalités du mouvement angulaire des astres, principalement du Soleil et de la Lune, et leurs différentes distances de la Terre, toujours regardée comme immobile au centre du monde. Cette première anomalie s'expliquait, pour le rappeler, par un excentrique, qui était un cercle commun FKML (fig. 5), décrit du centre D, différent du lieu

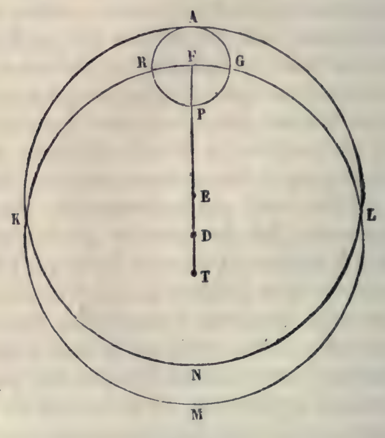


Fig. 5.

de la Terre T. Ce cercle (*l'excentrique*) portait un autre cercle, plus petit, appelé *épicycle*, lorsqu'il s'agissait d'ext

pliquer la seconde anomalie. Tel est le petit cercle AGP, l'épicycle, dont le centre se meut sur la circonférence de l'excentrique. L'épicycle était censé emporter avec lui la planète, dont le centre devait alors se mouvoir régulièrement dans la circonférence de l'épicycle : elle paraissait aller suivant l'ordre des signes (de l'occident à l'orient), quand elle était dans la partie inférieure P de l'épicycle, et paraissait aller contre l'ordre des signes (de l'orient à l'occident), quand elle se trouvait dans la partie supérieure A. Le point A, le plus haut de l'épicycle, s'appelait l'*apogée* de l'épicycle, et le point P, le plus bas, le *périgée* de l'épicycle. Le cercle excentrique, qui portait l'épicycle, se nommait le *déférent*, parce que, passant par le centre de la planète ou plutôt de l'épicycle, il semblait la faire marcher (*deferre*) pour ainsi dire dans son orbite. Le *déférent* ou cercle excentrique était distingué ensuite du cercle autour duquel le mouvement de la planète était uniforme. Ce dernier cercle, KNLR, était imaginé décrit du point d'égalité ou du centre des moyens mouvements qui, dans l'hypothèse des anciens, était au-dessus du centre du déférent autant que le centre de la Terre était au-dessous : DE = DT. C'est pourquoi ce cercle s'appelait l'*équant*, du latin *æquans*.

On supposait les déférents ou excentriques diversement inclinés sur l'écliptique, mais on croyait qu'aucun ne l'était au delà de huit degrés. Par le moyen de ces cercles les anciens se flattaient d'expliquer pourquoi les planètes paraissaient tantôt plus éloignées, tantôt plus rapprochées de la Terre, de même que la théorie des épicycles leur suffisait pour rendre compte des stations et des rétrogradations. Mais à mesure qu'on découvrait d'autres inégalités, il fallait multiplier les épicycles, mettre *épicycles sur épicycles*, imaginer des *épicycles* variables, sujets à des augmentations et à des décroissements perpétuels, et différemment inclinés sur l'écliptique.

D'après les démonstrations données par Lagrange[1], il est certain que, quelles que fussent les inégalités angulaires dans les mouvements d'une planète, on pourrait toujours les représenter en multipliant suffisamment le nombre des épicycles. Mais si le système des épicycles peut, mathématiquement, suffire pour rendre compte des déplacements angulaires, le système des déférents ou des cercles excentriques est tout à fait insuffisant pour expliquer les changements de distance, tels qu'ils sont aujourd'hui indiqués par les moyens d'observation perfectionnés.

Les ellipses de Kepler firent disparaître de la science les cercles excentriques et les épicycles de Ptolémée.

Après avoir signalé les erreurs capitales qui déparent l'*Almageste*, nous allons indiquer aussi les services que cet ouvrage a rendus aux progrès de l'astronomie. D'abord on y trouve consignées des observations anciennes, qui ont servi à vérifier ou à corriger même les observations des astronomes modernes. Cassini, Lalande et Laplace en ont cité des exemples. Ainsi, J. Cassini, en parlant (dans ses *Éléments d'astronomie*) du mouvement de l'apogée, c'est-à-dire de la quantité dont cette partie de l'orbite terrestre se déplace dans un temps donné, ajoute : « Comme ce mouvement est fort lent et difficile à discerner dans l'espace de quelques années, il est nécessaire, pour déterminer sa quantité, de comparer les observations éloignées les unes des autres, d'un intervalle de temps considérable, entre lesquelles celles d'Hipparque et de Ptolémée sont les plus reculées. » — Lalande reconnaît avec Cassini l'accord des tables de la Lune avec les observations rapportées dans l'*Almageste*, et il conclut des observations des équinoxes d'Hipparque la durée de l'année de 365 jours 5 heures 48 minutes et 45 secondes, à peu près comme dans les tables du Soleil de Lacaille.—

1. *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1772.

Laplace, traitant des mouvements séculaires de la Lune, dit : « Si l'on augmente de 4″,7 par siècle le mouvement synodique actuel, l'élongation de la Lune pour la première époque des tables de Ptolémée devient 70° 37′ 54″, c'est-à-dire plus grande seulement de 54″ que celle de Ptolémée. On ne devait pas espérer un si parfait accord, vu l'incertitude qui reste sur les masses de Vénus et de Mars, dont l'influence sur la grandeur de l'équation séculaire de la Lune est sensible. » — Enfin, l'*Almageste* établit, comme dit Bailly, « la communication entre l'astronomie ancienne et la moderne. Des observations importantes par leur antiquité y sont conservées : sans elles nous ne connaîtrions pas les mouvements moyens des planètes aussi exactement que les connaissaient Hipparque et Ptolémée. »

Les citations que nous venons de faire pourront justifier l'analyse, fort abrégée, que nous allons donner de l'important ouvrage de Ptolémée.

La *Syntaxe mathématique* ou *Almageste*, que l'auteur a dédiée à son frère Syrus, est divisée en treize livres. Dans le premier livre, précédé d'un court Prologue, il expose sommairement le système qui porte le nom de *système de Ptolémée*. Autour de la Terre immobile il supposait tourner, dans l'ordre de leurs distances, la Lune, Mercure, Vénus, le Soleil, Mars, Jupiter et Saturne. Ces astres cependant, qu'il comprenait avec tous les anciens sous la dénomination générale d'*errantes* (traduction littérale du mot grec πλανῆται, *planètes*), n'étaient pas fixés à des sphères de cristal, comme dans l'astronomie égyptienne. « Quelques phénomènes, dit Montucla, semblent d'abord déposer en faveur de cet arrangement : si la Terre n'était pas au centre, on ne verrait pas toujours, — c'est ainsi que raisonnait Ptolémée, — exactement la moitié du ciel; de deux étoiles diamétralement opposées, tantôt ni l'une ni l'autre ne paraîtraient, tantôt elles paraîtraient toutes deux (c'est-à-dire les étoiles change-

raient de position vis-à-vis de la Terre mobile dans l'espace), et les pôles du monde ne seraient pas deux points immobiles. C'étaient là des démonstrations assez pressantes de la stabilité de notre demeure, et elles étaient capables d'en imposer même à des esprits fort disposés d'ailleurs à se défier du témoignage de leurs sens[1]. »

L'auteur de l'*Almageste* passe ensuite à la construction d'une *Table des cordes*, sans lesquelles on ne pourrait exécuter aucune des opérations trigonométriques, nécessaires dans l'astronomie pratique. Rappelons-nous ici que

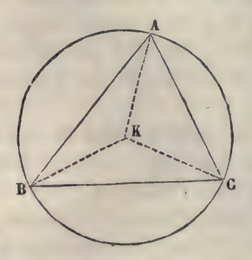


Fig. 6.

les Grecs divisaient le rayon en 60 parties, conséquemment le diamètre en 120 parties, et que, pour résoudre un triangle, ils le supposaient inscrit dans un cercle. Par cette inscription les côtés du triangle, tout en conservant leurs valeurs premières, linéaires, acquéraient de nouvelles valeurs, relatives au rayon du cercle : ils devaient être les cordes de trois arcs, dont la somme était toujours de 360 degrés. Les trois angles à la circonférence ne valaient que 180 degrés (les trois angles d'un triangle équivalent deux angles droits); ils étaient appuyés sur des arcs dont ils n'étaient que les moitiés. En comparant les doubles valeurs des côtés, on avait les analogies suivantes : AB : 2C : AC : 2B :: BC : corde 2A. A + B + C

1. Montucla, *Histoire des Mathématiques*, t. I, p. 295 (2e édit.).

$= 180°$, $2A + 2B + 2C = 360°$ (fig. 6). Trois de ces six quantités étant connues, le calcul donnait les trois autres. « Mais il ne suffit pas, ajoute Delambre (auquel nous empruntons ces détails), d'avoir une table de toutes les cordes possibles, qui ont nécessairement toutes les valeurs imaginables entre 0° 0′ 0″ et 120° 0′ 0″; il faut connaître l'arc auquel chacune de ces cordes appartient. De cette manière la corde AB étant donnée, par exemple, on aura l'angle AKB ou l'arc AB = 2 angles ACB; ou bien l'angle ACB étant donné, on connaîtra son double AKB = arc AB, et l'on aura la corde AB. C'est ce que l'on apprend par la Table de Ptolémée, qui offre, pour tous les arcs AB, de demi-degré en demi-degré, les cordes exprimées en parties sexagésimales du rayon[1]. »

L'emploi de cette Table, appelée le *Canon des droites inscrites dans le cercle* (Κανόνιον τῶν ἐν κύκλῳ εὐθείων), suppose la connaissance de l'*obliquité de l'écliptique*.

Ptolémée indique deux moyens pour trouver l'angle de l'écliptique. Le premier est si mal décrit qu'on peut douter que l'auteur de l'*Almageste* s'en soit servi. Le second moyen, qu'il présente comme préférable au premier, consistait dans l'emploi d'une brique ou d'une planchette quadrangulaire, bien aplanie sur l'une de ses surfaces. « D'un point placé, dit-il, vers l'un des angles et pris pour centre, nous avons décrit un quart de cercle et tracé les deux rayons qui composent l'angle droit. Nous avons divisé cet arc (quadrant) en 90 degrés et en leurs parties, et au centre nous avons placé un petit cylindre, auquel pendait un fil de plomb qui venait battre contre un cylindre inférieur égal au premier et fait au tour. Ce fil servait à rendre bien vertical l'instrument placé parallèlement à une méridienne tracée à terre. Nous en assurions la verticalité à l'aide de petites calles. L'instrument étant ainsi placé, nous observions à midi l'ombre du petit cy-

1. Delambre, *Astronomie ancienne*, t. II, p. 36.

lindre central en mettant sur l'endroit où elle tombait dans l'arc gradué quelque chose qui nous la fît mieux distinguer; et, marquant le milieu de cette ombre, nous prenions la division de l'arc du quart de cercle coïncidente à ce milieu. » (Voy. la fig. 7, d'après les mss. de Ptolémée.)

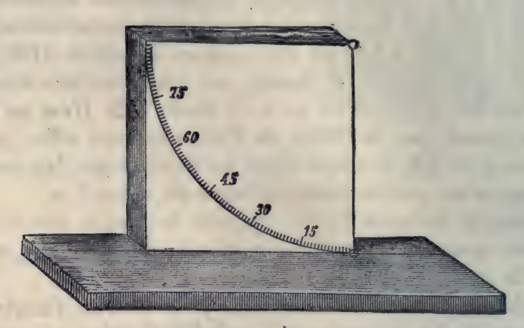


Fig. 7.

Cette observation (du milieu de l'ombre) donnait la distance du Soleil au zénith, conséquemment la déclinaison. L'instrument employé (une planchette se tenant debout) ne pouvait guère porter les fractions jusqu'aux dixièmes ou à six minutes; et le milieu de l'ombre reçu sur une pinnule ou cylindre ne devait pas non plus indiquer la distance zénithale avec beaucoup de précision. Quoi qu'il en soit, Ptolémée affirme que par un grand nombre d'observations faites avec cet instrument, particulièrement aux solstices, il a reconnu « par la marque qui, à compter du point vertical, tombait toujours sur les mêmes divisions du méridien et les donnait généralement égales, tant aux solstices d'été qu'aux solstices d'hiver, que l'arc du méridien compris entre la limite la plus boréale et la limite la plus australe, que l'arc entre les tropiques, vaut

constamment 47 degrés, plus deux tiers d'une portion majeure et trois quarts d'une portion mineure[1] ».

Cette quantité de l'arc de cercle, égale à 47° 40′ 45″, divisée par 2, donnait 3° 50′ 22 ½ pour l'obliquité de l'écliptique, « quantité donnée, ajoute Ptolémée, par Ératosthène et dont Hipparque s'est servi ». — Mais d'abord, l'instrument employé par Ératosthène était-il le même que celui de Ptolémée? L'auteur de l'*Almageste* ne nous fournit à cet égard aucun renseignement. Puis, comment a-t-il pu trouver, par ses observations, exactement la quantité qu'Ératosthène avait trouvée trois cents ans auparavant? Dans cet intervalle, l'obliquité de l'écliptique devait avoir diminué au moins de deux minutes et demie.

Le 2e livre de l'*Almageste* est presque exclusivement consacré à la détermination des angles formés par les intersections de l'écliptique, d'abord avec le méridien, ensuite avec l'horizon, enfin avec le cercle vertical.

Le 3e livre traite de la longueur de l'année d'après les données d'Hipparque, et expose les hypothèses de l'excentrique et des épicycles, dont nous avons déjà parlé. Bornons-nous à y ajouter ce jugement emprunté à l'auteur de la *Mécanique céleste*. « Si l'on peut, dit Laplace, satisfaire, à l'aide d'épicycles, aux inégalités du mouvement apparent des astres, il est impossible de représenter à la fois les variations de leurs distances. Au temps de Ptolémée, ces variations étaient bien peu sensibles relativement aux planètes dont on ne pouvait pas alors mesurer avec exactitude les diamètres apparents. Mais les observations de la Lune suffisaient pour lui montrer l'erreur de son hypothèse, suivant laquelle le diamètre de la Lune périgée dans les quadratures serait double de son diamètre apogée dans les syzygies. Les

1. La *portion majeure* est le degré divisé en 60 minutes, et la *portion mineure*, la minute divisée en 60 secondes; deux tiers de portion majeure font donc 40 minutes, et trois quarts de portion mineure, 45 secondes.

mouvements des planètes en latitude formaient de nouveaux embarras dans son système : chaque inégalité nouvelle le surchargeait d'un nouvel épicycle. Ainsi, au lieu d'avoir été confirmé par les progrès de l'astronomie, ce système n'a fait que se compliquer de plus en plus, et cela seul doit nous convaincre qu'il n'est pas celui de la nature. »

Découverte de l'évection.

Les 4[e] et 5[e] livres de l'*Almageste* sont consacrés aux mouvements de la Lune. C'est là qu'on trouve la découverte de l'*évection*, le vrai titre de gloire de Ptolémée. Pour bien faire saisir l'importance de cette découverte, nous allons prendre le sujet d'un peu plus haut.

Laissons d'abord de côté le mouvement diurne de la Lune : il est commun à tous les astres, à toute la sphère céleste. Quant au mouvement propre de notre satellite, les anciens savaient, pour le rappeler, distinguer, comme nous, la *révolution sidérale* de la *révolution synodique*, c'est-à-dire le retour de la Lune à la même étoile du retour de la Lune à sa conjonction ou à son opposition avec le Soleil; seulement ils ne savaient pas évaluer aussi exactement que nous la durée de ces deux révolutions dont la première est de $27^{j},32$, et la seconde de $29^{j},53$. Leur embarras était grand de voir que les positions calculées de la Lune dans son orbite différaient très-sensiblement des positions observées, et ces différences se reproduisaient régulièrement à chaque lunaison.

Si le Soleil était à une distance infinie de la Terre et de la Lune, son action sur ces deux corps serait pour nous comme à peu près nulle. Or le Soleil est loin d'être à une distance infinie; il fait donc sentir son action sur la Terre aussi bien que sur la Lune, mais inégalement et suivant des directions différentes; car la Lune est alterna-

tivement plus près et plus loin du Soleil que la Terre, et la droite qui joint le centre de la Lune à celui du Soleil forme des angles plus ou moins aigus avec le rayon vecteur terrestre. Retenons bien cette donnée fondamentale : elle servira à nous faire bien comprendre les trois principales inégalités (anomalies) du mouvement de la Lune, l'évection, la variation, l'équation annuelle, inexplicables autrefois, mais aujourd'hui parfaitement expliquées par ce qu'on appelle depuis Laplace le *Problème des trois corps*.

Les anciens ignoraient que la Lune, dans son mouvement révolutif autour de la Terre, va en s'accélérant depuis des siècles, et que par conséquent les durées des révolutions sidérales et des révolutions synodiques diminuent avec le temps. C'était fort heureux pour les anciens d'ignorer cette accélération : un corps, qui accélère sa marche, abrége évidemment la distance qui nous sépare de lui ; ils auraient d'avance calculé avec épouvante le moment où la Lune viendrait à tomber sur la Terre. Cette accélération très-réelle de notre satellite fut, comme nous le verrons plus bas, pour la première fois signalée par Halley et expliquée par Laplace.

Mais si les anciens ne pouvaient pas avoir les connaissances qui ne devaient être acquises que par leurs descendants, ils étaient, comme nous, stimulés par la curiosité. La curiosité, libre de tout système ou de préjugé, conduit l'homme de découverte en découverte. L'idée de calculer le retour de la Lune au même point de l'écliptique (où sa latitude est nulle), soit qu'elle monte du midi au nord (*nœud ascendant*), soit qu'elle descende du nord au midi (*nœud descendant*), est sans doute venue de bonne heure à l'esprit des observateurs. Mais, quelle a dû être leur surprise en voyant que ces nœuds, ces points d'intersection de l'orbite lunaire avec l'orbite solaire (terrestre, en réalité), non-seulement ne restent pas fixes au ciel, mais qu'ils ne sont pas même diamétralement opposés comme le sont le nord et le midi. Leur déplacement est,

en effet, relativement très-rapide, puisqu'il équivaut à 3′ 10″ par jour, c'est-à-dire que si, par exemple, le nœud ascendant est placé vis-à-vis d'une certaine étoile au commencement d'une lunaison donnée, on le trouvera, à la lunaison suivante, situé plus à l'occident de cette étoile de 1° 33′ 49″. L'orbite ou le plan dans lequel se meut la Lune et qui fait avec le plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre) un angle d'environ 5°, est donc lui-même mobile. Le mouvement des nœuds lunaires, analogue au déplacement, relativement beaucoup plus lent, des équinoxes, s'effectue, comme ce dernier, de l'orient à l'occident, ou en sens inverse du mouvement propre. Voilà ce que savaient les anciens. Mais ils n'ignoraient pas davantage que le mouvement propre, angulaire, de la Lune dans son orbite mobile, n'est pas uniforme; et c'est ce défaut d'uniformité qui préoccupait particulièrement Ptolémée.

Nous touchons ici à des mouvements très-complexes, dont les irrégularités apparentes avaient déjà fait dire à Pline que « la Lune torture l'esprit des observateurs et fait qu'ils s'indignent de voir que l'astre le moins éloigné échappe le plus à leur connaissance : *Multiformi hæc* (luna) *ambage torsit ingenia contemplantium, et proximum ignorari maxime sidus indignantium.* En examinant la Lune seulement pendant quelques mois, les anciens pouvaient constater que dans les sept jours qui suivent ou précèdent la nouvelle Lune, il y avait 5 à 6 degrés d'inégalité, qu'après sept autres jours cette inégalité disparaissait pour revenir et redisparaître, et ainsi de suite. Tel fut le premier résultat acquis pour l'inégalité des mouvements de la Lune : il était en opposition directe avec la théorie traditionnelle de l'uniformité des mouvements des corps célestes.

En continuant les mêmes observations pendant plusieurs années, on remarqua bientôt que le point de la plus grande inégalité, le point où la Lune se meut avec le plus de vitesse, est diamétralement opposé au point où elle se

meut avec le moins de vitesse, qu'il ne demeure pas fixe au ciel, c'est-à-dire qu'il n'occupe pas constamment la même position vis-à-vis des mêmes étoiles, mais qu'il avance toujours un peu plus dans le zodiaque, et cela environ de 3 degrés par mois ou par lunaison. On dut en même temps reconnaître que le diamètre de la Lune est variable et que par conséquent sa distance à la Terre varie à proportion ; qu'il est le plus grand au moment où la Lune se meut le plus vite ou qu'elle est le plus rapprochée de la Terre (Lune *périgée*), et qu'il est le plus petit au moment où la Lune se meut le plus lentement (Lune *apogée*). Ce second résultat, joint au premier, montra que la ligne qui unit le périgée à l'apogée, la *ligne des apsides*, comme on l'appelle, est elle-même mobile au ciel, et qu'elle se déplace, par l'une de ses extrémités (le périgée), d'environ trois degrés par lunaison, de l'occident à l'orient. Pour expliquer cette inégalité, connue sous le nom d'*équation de l'orbite*, on imagina pour la Lune ce qu'on avait fait pour le Soleil : on supposa que notre satellite décrit de même un cercle excentrique.

Ptolémée fit un pas de plus. Il constata que, d'une révolution lunaire à l'autre, les quantités absolues des deux vitesses extrêmes variaient, et que plus le Soleil s'éloignait de la ligne des apsides de la Lune, plus la différence entre le *maximum* et le *minimum* de vitesse allait en augmentant ; d'où il conclut que la première inégalité du mouvement lunaire, celle qu'il expliquait par un cercle excentrique (et qui dépend, en réalité, de l'excentricité de l'orbite lunaire), est elle-même sujette à une inégalité, indépendante de la position de la ligne des apsides de la Lune par rapport au Soleil, inégalité qui est, au *maximum*, de 1° 20′ 33″ par an. C'est cette seconde inégalité, liée par une loi très-simple à la distance de la Lune au Soleil et à la distance de la Lune au périgée, qui a reçu le nom d'*évection*[1].

1. Ce nom lui a été donné, au XVIIe siècle, par l'astronome Bouil-

Ptolémée la découvrit à l'aide de l'astrolabe d'Hipparque. Il l'expliquait en supposant que la Lune se mouvait sur un épicycle porté dans un cercle excentrique ; cet épicycle devait être plus près de la Terre dans les quadratures que dans les syzygies. Voilà pourquoi Ptolémée appelait l'inégalité qu'il avait découverte, la *nutation* ou la *prosneuse*, προσνεύσις, de l'*épicycle*. C'est ce que Copernic, qui employa pour cette explication deux épicycles, appelait *prostaphæresis secundi vel minoris epicycli*, et Tycho, *prostaphæresis excentricitatis*. Le nom d'*évection*, donné par Bouillaud, a prévalu.

Le 6[e] livre de l'*Almageste* traite des parallaxes du Soleil et de la Lune, ainsi que de la manière de calculer les éclipses. L'auteur n'y dit rien qui ne fût déjà connu avant lui.

Le 7[e] livre a pour objet les étoiles. Ptolémée vérifia la fixité de leurs positions relatives, et il remarqua, comme Hipparque, qu'outre le mouvement diurne général, les étoiles avaient un mouvement en longitude, beaucoup plus lent, qui les emportait autour des pôles de l'écliptique d'orient en occident. Hipparque avait évalué ce mouvement de rétrogradation des points équinoxiaux à 2 degrés en cent cinquante ans ou à 48 secondes par an, quantité un peu trop faible ; car ce mouvement est en réalité de 50″, 23. Sous prétexte de corriger Hipparque, Ptolémée réduisit la quantité du mouvement des points équinoxiaux à 1 degré par siècle, ce qui s'écarte encore davantage de la réalité. Cette erreur, suite d'une correction malheureuse, introduisit une augmentation sensible dans la durée de l'année, que Ptolémée portait à 365 jours 5 heures 55 minutes, durée trop longue de plus de 6 minutes.

Un *Catalogue des étoiles fixes* avec leurs positions res-

laud, qui avait particulièrement en vue la dépendance de cette inégalité de la position de l'apogée.

pectives en longitude et en latitude termine le 7e livre et commence le 8e. Ce catalogue a été le sujet de vives controverses entre les astronomes modernes. Les uns, tels que Flamsteed et Lalande, soutenaient que c'était le même catalogue qu'Hipparque avait dressé 265 ans avant Ptolémée, et que, Ptolémée n'y ayant rien changé, les étoiles, par suite de la précession des équinoxes, devaient être plus avancées vers l'occident qu'elles ne sont marquées dans l'*Almageste*. Les autres considéraient ce catalogue comme l'œuvre même de Ptolémée. De ce nombre était Laplace. « A la vérité, dit-il, les trois équinoxes que Ptolémée a observés sont fautifs; mais il paraît que, trop prévenu pour les tables solaires d'Hipparque, il fit coïncider avec elles ses observations des équinoxes, alors très-délicates, et dont le seul dérangement de son armille suffit pour expliquer ses erreurs. » — Au jugement de Laplace, il n'y aurait rien à changer aux longitudes et aux latitudes que Ptolémée appliquait aux étoiles.

Le 8e livre contient, en même temps, une description de la Voie Lactée, la manière de construire un globe céleste et les différents rapports de situation des étoiles.

Les 9e, 10e, 11e, 12e et 13e livres de l'*Almageste* ont pour objet les planètes, leurs orbites, leur rang, leurs retours périodiques, leurs excentriques et leurs épicycles. On se rappelle qu'Hipparque ne se croyait pas assez préparé pour aborder utilement la théorie des planètes. Ptolémée aurait dû imiter cette sage réserve. Mais il a voulu parler. Aussi, malgré les trois siècles qui le séparent d'Hipparque, y a-t-il dans ce qu'il dit beaucoup d'idées confuses, et une discordance complète entre le calcul et l'observation.

Ptolémée persistait, non-seulement à placer la Terre au centre du monde, mais il n'eut pas même la pensée de placer, comme l'avait déjà fait Cicéron (sans doute d'après Posidonius, son maître), le Soleil au centre des mouvements de Mercure et de Vénus. C'est dans le *Songe*

de Scipion, commenté par Macrobe, que Cicéron appelle Mercure et Vénus les *satellites du Soleil : Hunc* (sc. *solem*) *ut comites sequuntur alter Veneris, alter Mercurii cursus.* On pourra rapprocher ce passage de plusieurs autres, qu'on lit dans les livres Ier et IIe du traité *De Natura deorum.*

Les autres ouvrages de Ptolémée, qui se rattachent indirectement à l'*Almageste*, ont pour titres : *Apparition des fixes et Recueil de prédictions* (Φάσεις ἀπλανῶν ἀστέρων καὶ συναγωγὴ ἐπισημασειῶν) ; c'est un calendrier dans le genre de ceux que les Grecs appelaient *Parapegmes* ou Recueils de levers et de couchers des étoiles, qui étaient autant d'annonces visibles des saisons, avec les *Pronostics*, ἐπισημασίαι, des principaux changements de température, relativement à chaque climat ; il a été imprimé dans l'*Uranologium* de Petau et dans l'édition des Œuvres de Ptolémée par Halma ; — *Tetrabiblon* (Τετράβιβλος συντάξις), traité d'astronomie, publié en grec et en latin, par Camerarius (Nuremberg, 1535, in-4°), et par Mélanchthon (Bâle, 1553, in-8°) ; il est suivi d'un petit recueil de cent aphorismes, intitulé *Centiloquium* ou Κάρπος ; — *Sur les hypothèses planétaires* (Περὶ ὑποθεσέων πλανωμένων), sorte d'extrait de l'*Almageste*, édité par Bainbridge, avec la *Sphère* de Proclus ; Londres, 1620, in-4° ; — *Traité de Musique*, publié en grec et latin, par Wallis, avec le commentaire de Porphyre ; Oxford, 1699, in-fol. ; — le *Canon des règnes* (Κανὼν βασιλείων) ; c'est une Table chronologique des rois assyriens, mèdes, perses, grecs et romains, depuis Nabonassar jusqu'à Antonin le Pieux ; chaque nom indique, non pas la durée de la vie d'un roi, mais celle de son règne. On trouve cette Table imprimée dans les ouvrages de Scaliger, de Calvisius, de Petau, ainsi que dans l'édition de Halma des Œuvres de Ptolémée.

Ptolémée s'était fait connaître, non-seulement comme astronome, mais encore comme géographe. Son *Traité de Géographie* (Γεωγραφικὴ ὑφήγησις), presque aussi célèbre

que sa Syntaxe mathématique (*Almageste*), consiste dans une simple énumération de noms de lieux, avec l'indication de leur longitude et de leur latitude. Jusqu'au seizième siècle, ce fut là le guide de tous les voyageurs : à chaque découverte ils croyaient reconnaître quelque contrée déjà indiquée par Ptolémée. La Terre, à laquelle l'auteur donnait une forme sphérique, était estimée par lui à 180 000 stades (à 500 stades par degré) de circonférence, ce qui fait environ 10 000 lieues, au lieu d'environ 9000 qu'elle a en réalité. Malheureusement Ptolémée ne nous dit pas sur quelle base reposent ses déterminations de lieux, dont le nombre dépasse 2 500, ni dans quel rapport elles se trouvent avec les itinéraires alors en usage[1].

On attribue à Ptolémée deux petits traités *De Analemmate*, et *De Planispherio*, traduits de l'arabe et publiés par Commandin; Rome, 1558 et 1562, in-4°. — L'*Analemme* est la description de la sphère sur un plan : on y trouve les sections des différents cercles, tels que les parallèles diurnes et tout ce qui peut faciliter l'intelligence de la gnomonique. Cette description se fait par des perpendiculaires abaissées (à angle droit) sur un plan, ce qui lui a fait donner par les modernes le nom de *projection orthogonale*. Les cercles principaux de l'*Analemme* sont l'horizon, le premier vertical et le méridien; les trois axes sont : la méridienne, axe du premier vertical, la verticale qui se nomme aussi *gnomon*, et le diamètre du premier vertical, qu'on appelle aussi *équinoxial*, et qui est l'axe du méridien. C'est là, suivant Delambre, la première mention que l'on trouve de ces trois axes orthogonaux dans les écrits des Grecs.

1. Les plus anciennes éditions de la Géographie de Ptolémée (texte latin) parurent à Rome, 1462, 1475, 1478, 1482, 1490, in-folio. Les cartes qu'on y voit passent pour les copies des cartes exécutées par le mécanicien Agathodémon, qui vivait au ve siècle. L'édition la plus estimée est celle de Montanus, avec les cartes de Mercator; Francfort et Amsterdam, 1605, in-fol, (texte grec avec traduction latine).

Plusieurs savants, Alexandre de Humboldt entre autres, ont mentionné de Ptolémée un *Traité d'Optique*, que les Arabes nous avaient conservé. Nous nous sommes, il y a plus de vingt-cinq ans, assuré par nos propres recherches, qu'il existe à la Biblothèque nationale de Paris un manuscrit latin, coté 7310, que ce manuscrit est divisé en cinq chapitres (*sermones*), et qu'il commence par ces mots : *Incipit liber Ptolemæi De Opticis sive aspectibus*, *translatus ab Ammirato Eugenio siculo de arabico in latinum*. C'est donc une traduction latine d'une version arabe : le texte grec primitif paraît être perdu. Le premier chapitre est rempli de lacunes, laissées en blanc dans le manuscrit. Le cinquième offre le plus d'intérêt : il traite de la réfraction des rayons lumineux, lors de leur passage à travers des milieux d'inégale densité. L'auteur donne une appréciation numérique, sous forme de tableaux, des rayons déviés quand ils passent, soit de l'air dans l'eau, soit de l'eau dans l'air, sous différents degrés d'incidence. Ce *Traité d'Optique*, attribué à Ptolémée, et dont on a récemment publié des extraits, mériterait d'être publié intégralement.

CHAPITRE XII.

ASTRONOMES D'ALEXANDRIE POSTÉRIEURS A PTOLÉMÉE.

On n'est pas d'accord sur l'époque où vivait *Hypsiclès*, qui enseignait l'astronomie à Alexandrie. Les uns le font vivre vers 180 de notre ère, les autres, vers le milieu du sixième siècle[1]. On a de lui un *Traité sur les ascensions droites des étoiles du zodiaque* (Περὶ τῆς τῶν ζωδίων ἀναφορᾶς), publié en grec et en latin par Jacques Mentel (Paris, 1657, in-4°), et avec les *Optiques d'Héliodore*, par Érasme Bartholin (Paris, 1680). Cet ouvrage, qui fut traduit en arabe par Costha-ben-Luca, servait d'étude préparatoire à l'*Almageste* de Ptolémée. L'auteur paraît avoir ignoré les méthodes employées par Hipparque et Ptolémée pour changer l'ascension droite en longitude.

Achille Tatius, astronome et poëte, natif d'Alexandrie, vivait probablement à la fin du troisième siècle. Il se fit chrétien et devint évêque. Auteur des *Amours de Clitophon et Leucippe*, roman grec, il composa un *Traité des Sphères*, sous le titre d'*Introduction aux Phénomènes d'Aratus*, dont il ne nous reste qu'un fragment, publié dans l'*Ura-*

1. M. Morgan, dans ***Dictionary of Greek and Roman Biography.***

nologium de Petau. Ce fragment ne nous donne pas une haute idée des connaissances astronomiques de l'auteur.

Théon d'Alexandrie, qui vivait au quatrième siècle, a écrit des *Commentaires* sur Aratus, qu'on trouve dans plusieurs éditions des *Phénomènes*. Il a écrit aussi des *Commentaires*, en onze livres, sur l'*Almageste*; ils parurent avec l'édition *princeps* de l'*Almageste* (Bâle, 1538, in-fol.), et ont été en partie reproduits dans l'édition de Ptolémée par Halma. C'est une simple paraphrase, qui n'est guère propre à faciliter l'intelligence du texte. La Bibliothèque nationale de Paris possède un manuscrit grec (nº 2399 du Catalogue des Mss.), qui donne les *Tables manuelles* (Κάνονες πρόχειροι) astronomiques de Théon. Ces Tables, dont le commencement a été publié par Dodwell à la suite de ses *Dissertationes Cyprianæ* (Oxford, 1684, in-8º), ont été analysées par Delambre à la fin du tome II de son *Astronomie ancienne*. Elles offrent quelque intérêt pour l'histoire du calendrier.

Théon d'Alexandrie est encore connu pour avoir été le père et le premier maître de la savante Hypathie, dont parle Synésius dans ses *Lettres*, et qui périt victime du fanatisme des chrétiens d'Alexandrie, excités par l'archevêque Cyrille.

CHAPITRE XIII.

ÉCOLE D'ATHÈNES.

Proclus (né à Constantinople en 412, mort en 485 de notre ère) fit ses études à Alexandrie et vint, après la chute de l'école d'Alexandrie, enseigner la philosophie néoplatonicienne à Athènes, où s'étaient réfugiés les derniers défenseurs des croyances de l'antiquité païenne. Proclus avait des connaissances étendues en mathématiques et en astronomie, comme l'atteste son *Traité de la Sphère*, dont l'édition la plus récente est de Gutenaker (Wurzbourg, 1830, in-8°). Toutes les divisions de la sphère céleste y sont clairement exposées. Son *Commentaire* sur le 1er livre d'Euclide contient beaucoup de détails curieux concernant l'histoire et la métaphysique de la géométrie. Son *Exposition des hypothèses astronomiques* est une sorte de sommaire de l'*Almageste*.

On raconte de Proclus un trait semblable à celui d'Archimède incendiant la flotte des Romains. Suivant le chroniqueur Zonaras, il brûla, à l'aide de miroirs ardents, les vaisseaux de Vitalien assiégeant Constantinople. Mais un autre chroniqueur byzantin, Malalas, réduit ces miroirs ardents à de simples machines lançant du soufre.

Thius enseignait l'astronomie à Athènes vers la fin du cinquième siècle et au commencement du sixième. Bouilland, dans son *Astronomia Philolaïca*, a publié de cet astronome, d'après un manuscrit de la Bibliothèque nationale de Paris, des observations faites par Thius. Ces observations ont servi à Bouillaud pour rectifier sa théorie des planètes supérieures. Il serait à souhaiter qu'elles fussent publiées intégralement.

Simplicius, de Cilicie, disciple d'Ammonius et de Damascius, fut, au commencement du sixième siècle, un des derniers représentants de l'École néoplatonicienne qui s'était réfugiée à Athènes. Il avait commenté, entre autres, le traité d'Aristote *Du ciel*. Il ne fait le diamètre du Soleil qu'environ cent fois plus grand que celui de la Terre ; il dit qu'il y a des étoiles plus grandes que le Soleil, et que la Lune ne nous montre pas toujours la même face ; enfin il pense, comme Aristote, que ce ne sont pas les planètes qui tournent autour de la Terre, mais seulement les sphères qu'elles portent.

L'école d'Athènes, qui florissait sous le règne de l'empereur Justinien, eut une existence éphémère : elle disparut peu de temps après la mort de cet empereur.

CHAPITRE XIV.

ÉCOLE BYZANTINE.

Héraclius, empereur d'Orient (de 610 à 641 après J. C.), trouva, au milieu de ses nombreuses expéditions militaires, assez de loisir pour écrire des *Commentaires* sur quelques traités de Ptolémée. Mais aucun éditeur, que nous sachions, ne les a encore tirés de la poussière des bibliothèques, où ils existent en manuscrits.

Léontius, qui vivait sous le règne d'Héraclius, composa un ouvrage insignifiant *Sur la préparation de la sphère d'Aratus*. Il n'est guère connu que par sa fille Athénaïs, qui, grâce à son éducation brillante, parvint au trône de Constantinople.

Depuis le septième siècle jusqu'au douzième, on rencontre à peine quelques noms qui méritent d'être tirés de l'oubli.

Chioniadès, qui vivait au treizième siècle, obtint de l'empereur d'Orient de se rendre en Perse pour y étudier l'astronomie, à laquelle les Grecs ses compatriotes étaient redevenus à peu près étrangers. Il rapporta de la Perse des *Tables astronomiques*, dont un abrégé se trouve en manuscrit à la Bibliothèque nationale de Paris.

Un contemporain de Chioniadès, *Nicéphore Blemmydas*, composa un *Traité sur le Soleil et la Lune*, qui est resté inédit.

Le moine *Nicéphore Grégoras* (mort vers 1360), plus connu comme chroniqueur que comme astronome, écrivit un petit *Traité sur la correction du terme pascal*, qui a été imprimé dans l'*Uranologium* de Petau. Il écrivit aussi un *Traité sur l'Astrolabe*, qui parut, en 1498, par les soins de Valla.

Chrysoccès, médecin et astronome, ami de Théodore de Gaza, bibliothécaire du Vatican, est auteur d'un *Traité d'Astronomie* ('Αστρονομικὰ), qui existe en manuscrit à la Bibliothèque nationale de Paris. Bouillaud en a donné quelques extraits dans son *Astronomia Philolaïca*.

Nicolas Cabasillas, archevêque de Thessalonique vers 1350, commenta l'*Almageste*. Son Commentaire, qui se trouve dans l'édition grecque de Ptolémée, porte sur le troisième livre de l'*Almageste*.

Gemiste Pléthon, connu par des ouvrages historiques et philosophiques, composa un *Traité d'Astronomie*, qui est resté inédit.

Il serait inutile d'allonger cette liste d'écrivains byzantins, aussi médiocres astronomes que mathématiciens.

LIVRE QUATRIÈME.

ASTRONOMIE ROMAINE, ARABE ET OCCIDENTALE.

CHAPITRE I.

ASTRONOMIE ROMAINE.

Les Romains, animés de l'esprit de conquêtes, n'avaient pas, comme les Grecs, le sentiment du vrai, le goût des sciences. L'étude des mathématiques semblait répugner à leur génie. Les vers dans lesquels Virgile, Horace, Ovide, etc., parlent des astres, ne sont guère que des réminiscences des anciens poëtes de la Grèce. Ainsi, cette belle image du lever d'Orion que Virgile représente baigné jusqu'aux épaules dans les flots de l'Océan,

. . . . Quam magnus Orion
Cum pedes incedit, medii per maxima Nerei
Stagna viam scindens, humero supereminet undas...

est presque littéralement empruntée à Homère[1].

1. Odyssée, V, 275.

Et quand Horace insiste pour satisfaire « cette curiosité sublime qui demande à savoir ce qui dompte la mer, ce qui tempère l'année, si les astres se meuvent spontanément ou par un ordre suprême, »

Nil parvum sapias, et adhuc sublimia cures :
Quæ mare compescant causæ, quid temperet annum;
Stellæ sponte sua, jussæne vagentur et errent,

le poëte n'énonce qu'une de ces aspirations familières à tous les esprits curieux.

Ovide qui, dans le 1er livre de ses *Fastes*, nous fait un si bel éloge des astronomes, « de ces heureux mortels qui par leur science se sont les premiers élevés jusqu'aux demeures célestes, qui ont rapproché les astres de nos yeux et soumis à leur génie les phénomènes du ciel, »

Felices animos, quibus hæc cognoscere primis
Inque domos superas scandere cura fuit.
. . . .
Admovere oculis distantia sidera nostris
Æthereaque ingenio supposuere suo,

trahit son ignorance de l'astronomie dans son histoire de Phaéthon.

Les occupations bruyantes du forum et des camps ne permettaient guère aux Romains de se livrer avec suite à la paisible culture de la science. On a lieu de s'étonner que, par exemple, Cicéron, qui supposait au monde une âme intelgente (*necesse est intelligentem esse mundum et quidem etiam sapientem*), ait trouvé le loisir de traduire les *Phénomènes* d'Aratus[1]. Quant à César, à qui Lucain fait dire « qu'au milieu des armes il songeait aux astres »,

Media inter prœlia semper
Stellarum cœlique plagas superisque vocavi,
Nec meus Eudoxus vincetur festibus annus,

1. *Aratus*, que nous avons déjà plusieurs fois cité, natif de Soli ou de Tarse, vivait vers l'an 270 avant Jésus-Christ. A la demande du roi

c'est une pure fantaisie du poëte. Mais on doit à César la réforme du calendrier dont nous avons parlé plus haut; et c'est tout ce que rappellent les vers cités.

Manilius. Lucrèce.

Rien n'est plus incertain que l'histoire personnelle du poëte Manilius, auteur des *Astronomiques*. Est-ce le Manilius qui, selon Pline, rattachait la vie du Phénix à la période de la Grande Année? L'astrologue Manilius Antiochus est-il le même que Publius Syrus, qui vint à Rome comme esclave? Est-ce le même enfin que le mathématicien Manilius qui, du temps d'Auguste, disposa l'obélisque du Champ de Mars de manière à servir d'aiguille de cadran solaire? On l'ignore. Mais nous savons que le poëme de Manilius, reflétant les connaissances jusqu'alors acquises, n'a rien ajouté au progrès de la science. Un phénomène qui paraissait vivement, avec raison, occuper l'imagination du poëte, c'est la Terre librement

Antigone, il mit en vers deux ouvrages d'Eudoxe de Cnide, intitulés : l'un, *Miroir*, Ἔνοπτρον; l'autre, *Phénomènes et Signes*, Φαινόμενα καὶ Διοσημεῖα, traitant du cours et de l'influence des astres. Ce poëme faisait l'admiration des anciens. Son auteur débute par poser en principe que tout dépend de Jupiter, et que *nous en descendons nous-mêmes*, αὐτοῦ γὰρ καὶ γένος ἐσμέν, passage cité par saint Paul, compatriote d'Aratus, dans son discours aux Athéniens (*Act. Apost.*, XVII, 28). Les *Signes* offrent quelques rapports avec les poëmes d'Hésiode, et ont été imités par Virgile. Les *Phénomènes* ont été traduits en vers latins par Cicéron, Germanicus et Aviénus. Il ne nous reste de la traduction cicéronienne que de faibles fragments. — Aratus, bien qu'il ne fût pas lui-même astronome, eut de nombreux commentateurs, parmi lesquels on cite Hipparque, Achille Tatius et Théon d'Alexandrie. Leurs commentaires ont été mis au jour par Vettori, Florence, 1567, in-fol. L'une des meilleures éditions d'Aratus est celle que Bekker a donnée, en 1829.

suspendue dans l'espace : « Dieu la fit, dit-il, de manière que, tombant de tout côté, elle ne tombât point :

. . . . fecitque cadendo
Undique ne caderet.

Le poëte revient souvent sur cette grande idée, comme dans ces vers :

Nec vero tibi natura admiranda videri
Pendentis terræ debet, cum pendeat ipse
Mundus et in nullo ponat vestigia fundo[1].

Lucrèce, dont la vie est aussi peu connue que celle de Manilius, s'est fait, dans son poëme *De rerum natura*, l'interprète des doctrines de Démocrite, de Leucippe, d'Épicure et d'autres philosophes grecs. C'est ainsi qu'il croit avec Démocrite que le mouvement propre des planètes vient de ce que, plus voisines de la Terre, elles ne peuvent égaler la vitesse de la sphère étoilée :

Inferior quam sol, tanto magis omnia signa
Haud adipiscuntur, circum præterque feruntur.

L'auteur de l'*Astronomicon*, que ce soit le fabuliste Hygin, affranchi d'Auguste, ou un écrivain plus récent, ne montre que des connaissances très-superficielles dans ce qui nous reste de son poëme[2].

1. *Astronomicon*, I, 162-163.
2. Le poëme de Manilius (*Astronomicon libri V*) a été pour la première fois imprimé par Regiomontanus, d'après un manuscrit découvert par Poggi, Nuremb., in-4°, sans date (probablement en 1473). L'une des meilleures éditions est celle de Pingré, Paris, 1786, in-8° (accompagnée d'une traduction française).

De quelques auteurs qui ont incidemment parlé d'astronomie. — Le cycle dionysien.

Vitruve n'a guère traité dans son ouvrage *De architectura* que des questions de mécanique. Mais ce que nous avons plus haut cité de lui, relativement à la théorie des stations et des rétrogradations des planètes, ne nous donne pas une haute idée de ses connaissances astronomiques.

Sénèque, dans ses *Questions naturelles*, émet quelques idées qui sont comme des inspirations d'un véritable génie. Ainsi, après avoir parlé de la multitude des astres qui décorent les nuits sereines, il s'écrie : « Eh quoi ! il n'y en aurait que cinq (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne), auxquels il fût permis de se mouvoir, tandis que les autres se tiendraient à la même place comme un peuple fixe et immobile (*cætera stare, fixum et mobilem populum*)[1] ? » Ailleurs il cite une théorie d'Apollonius le Myndien, que nous croyons devoir reproduire. Il s'agit des comètes. « Apollonius dit que beaucoup de comètes se meuvent comme des planètes (*multos cometas erraticos esse*).... Seulement leur forme, comme leur orbite, est plus allongée (*procerior et in longum producta*). La comète nous est invisible, tant que sa course se prolonge dans les régions plus éloignées de l'univers ; elle ne nous apparaît que dans sa course la plus rapprochée de nous (*non est illi palam cursus : altiora mundi secat ; et tunc demum apparet, quum in imum cursus venit*)[2]. »

Sénèque adopte avec chaleur cette opinion d'Apollonius de Mynde. Après avoir rejeté le sentiment des philoso-

1. Sénèque, *Naturales quæstiones*, VII, 24.
2. Sénèque, *Nat. quæst.*, VII, 17.

phes qui regardaient les comètes comme « des feux passagers », l'auteur des *Questions naturelles* ajoute : « Si, nous objecte-t-on, les comètes étaient des espèces de planètes, elles ne sortiraient pas du zodiaque. Mais quel homme oserait assigner aux astres une route unique?... Les planètes mêmes décrivent des orbites différentes les unes des autres; pourquoi n'y aurait-il pas d'autres corps célestes, qui auraient chacun une route particulière à parcourir, quoique fort éloignée des routes que suivent les planètes?... Si l'on me demande pourquoi on n'a pas observé le cours des comètes, comme celui des cinq planètes, je répondrai qu'il y a beaucoup de choses dont nous savons seulement qu'elles existent, sans en connaître la nature. Tout le monde reconnaît l'existence de cette force intérieure, — qu'on l'appelle *âme* ou autrement, — qui excite et dirige nos mouvements ; mais personne ne nous dira ce qu'est cette force directrice, souveraine de notre corps, pas plus que personne ne nous instruira du lieu qu'elle occupe : l'un vous dira que c'est un esprit ou souffle (*spiritus*), l'autre une harmonie (*concentus*) ; un troisième, que c'est une parcelle de la force divine; celui-ci, un air subtil; celui-là, une puissance immatérielle. Il y en a qui la placent dans le sang; d'autres, dans la chaleur. Notre esprit a si peu de lumière sur les ouvrages de la nature, qu'il en est encore à se chercher lui-même. Est-il donc surprenant que ces choses ne soient pas encore pour nous, assujetties à des lois certaines; qu'on ne connaisse pas le commencement et la fin de la révolution de ces corps qui ne reparaissent qu'au bout d'un long intervalle? Il n'y a pas encore mille cinq cents ans que la Grèce s'est occupée d'astronomie. Il existe encore aujourd'hui beaucoup de nations qui ne connaissent le ciel que de vue, qui ne savent pas pourquoi la Lune s'éclipse : la raison de ce phénomène n'est d'ailleurs bien connue chez nous que d'hier. Il viendra un temps où, à force de patientes recherches, on tirera au clair ce qui nous est caché

aujourd'hui. L'âge d'un homme ne suffit point pour de telles découvertes, lors même qu'il se consacrerait tout entier à l'étude du ciel. Que peut-on espérer quand on a reçu en partage une vie, déjà si courte, fort inégalement répartie entre des occupations frivoles et les études sérieuses ! Ce ne sera donc qu'après une longue suite de générations que l'on parviendra à savoir ce que nous ignorons. Un temps viendra où nos descendants seront surpris que nous ayons ignoré des choses si patentes (*veniet tempus, quo posteri tam aperta nos nescisse mirentur*). »

Ce beau passage, que nous avons cru devoir citer en entier, a été pour Montucla presque un objet de raillerie. « Sénèque saisit, dit-il, l'opinion des retours périodiques des comètes avec une sorte d'enthousiasme, et, s'élançant pour ainsi dire dans l'avenir, il ose prédire qu'il viendra un temps où leur cours sera connu et assujetti à des règles, comme celui des planètes. A en juger par ce trait, Sénèque eût eu un peu de peine à adopter les vérités les plus sublimes de l'astronomie moderne. » — Montucla est mort en 1799, sans avoir connu l'existence des *comètes périodiques*. S'il avait vécu quelques années de plus, il aurait pu voir briller, pour employer son langage, parmi « les vérités les plus sublimes de l'astronomie moderne », précisément la découverte des comètes dont « le cours est assujetti à des règles, comme celui des planètes. » Qu'on ne se moque donc jamais des jugements, quels qu'ils soient, qui en appellent à l'avenir !

Sénèque avait pour ainsi dire le flair des grandes choses. N'est-ce pas lui qui a prédit la découverte du Nouveau Monde[1] ? C'est encore Sénèque qui posa résolû-

1. On connaît ces vers de la *Médée*, tragédie de Senèque :

Venient annis
Sæcula seris quibus Oceanus
Vincula rerum laxet, et ingens
Pateat tellus, Thetysque novas
Deteget orbes.

ment le grand problème du mouvement de la Terre, en ces termes : « Il est temps que nous sachions si c'est le monde qui tourne, la Terre restant immobile, ou si c'est la Terre qui tourne, le monde demeurant fixe (*utrum mundus terra stante circumeat, an mundo stante terra vertatur*).... C'est un problème digne d'exercer l'esprit humain que de s'enquérir de l'état des choses où nous sommes, que de savoir si la demeure qui nous est échue est inerte, ou si elle se meut très-rapidement[1]. » — L'auteur relégua la solution de ce problème parmi « les choses si patentes », qu'on sera, pour nous servir de son langage, un jour « surpris qu'elles aient été ignorées si longtemps. »

Pline le Naturaliste a consacré tout le second livre de son *Histoire naturelle* à l'astronomie. Mais il n'a pas l'ampleur poétique de Sénèque, et il montre, par le choix des faits qu'il a recueillis et par les raisonnements dont il les accompagne, qu'il n'était ni astronome, ni géomètre

Censorinus, qui vivait vers 240 de notre ère, donne, dans son traité *De die natali*, une multitude de détails intéressants, qu'on chercherait vainement ailleurs, sur la chronologie et l'histoire du calendrier. Il y est aussi question de la vie divisée en périodes climatériques, et de sa durée limitée à quatre-vingts ou à cent ans au plus.

L'encyclopédiste *Macrobe*, qui vivait à la fin du quatrième et au commencement du cinquième siècle, résume, dans son *Commentaire sur le Songe de Scipion*, les connaissances jusqu'alors acquises sur les principaux phénomènes du ciel et de la terre. L'auteur a pris pour texte de son Commentaire un passage de Cicéron, au sixième livre de la *République*, où ce grand écrivain fait apparaître en songe le vainqueur d'Annibal, Scipion l'Africain,

1. Sénèque, *Nat. quæst.*, VII, 2.

à Scipion Émilien, pour lui révéler les récompenses que recevront, dans une autre vie les hommes qui ont sur cette terre rendu des services à leurs concitoyens. On y trouve un exposé des doctrines pythagoriciennes sur les nombres. La Voie Lactée, dans laquelle l'auteur place l'entretien de Scipion avec son aïeul, est présentée comme la route que prennent les âmes pour aller du ciel à la terre et de la terre au ciel. Le Soleil est appelé le conducteur, le chef ou pondérateur des autres astres, *dux, princeps et moderator luminum reliquorum*. Cependant, malgré l'importance que l'auteur donne au Soleil, il continue à faire de la Terre le centre du monde.

Firmicus Maternus, dans son ouvrage sur les mathématiques (*Matheseos libri VIII*), écrit probablement vers l'an 340 de notre ère, ne traite que de l'astrologie judiciaire, conformément aux doctrines des Égyptiens et des Babyloniens, telles qu'elles avaient été exposées par les maîtres les plus renommés, parmi lesquels l'auteur cite Petosiris, Necepso, Abraham et Orphée.

Solinus, probablement contemporain de Firmicus, a reuni, dans ses *Collectanea rerum memorabilium*, une foule de contes qui n'ont rien de commun avec l'histoire de la science.

A mesure que nous nous éloignons de l'antiquite en nous rapprochant du moyen âge, nous ne rencontrerons plus que des compilateurs latins, qui prétendaient embrasser l'ensemble des connaissances humaines : tels sont Martianus Capella, Isidore de Séville, Boèce, Bède.

Martianus Capella, qui vivait probablement vers la fin du cinquième siècle, nous a laissé une sorte d'Encyclopédie en neuf livres, dont les deux premiers portent le singulier titre *De nuptiis Philologiæ et Mercurii*. C'est une allégorie ingénieuse, à laquelle on a supposé un sens mystique. Les sept livres suivants traitent des sept arts

libéraux, qui formaient au moyen âge l'enseignement de la scolastique, à savoir la Grammaire, la Dialectique, la Rhétorique, la Géométrie, l'Arithmétique, l'Astronomie, la Musique[1].

C'est dans le huitième livre que se trouve un chapitre intéressant pour l'histoire de l'astronomie ; il a pour titre : « Que la Terre n'est pas le centre de toutes les planètes (*quod tellus non sit centrum omnibus planetis*). » On y lit le fameux passage qui paraît avoir suggéré à Copernic l'idée de son système du monde. Martianus Capella dit en effet que Vénus et Mercure ne tournent pas autour de la Terre, mais autour du Soleil, considéré comme le centre de leurs mouvements. Mais Copernic ne saurait être taxé de plagiaire, car il a lui-même soin de citer Martianus Capella, et il ajoute que l'idée de cet auteur méritait d'être prise en considération[2]

Isidore de Séville, dans son livre des *Origines*, paraît avoir, l'un des premiers, distingué l'astronomie de l'astrologie. « L'astronomie, dit-il, s'occupe du mouvement des astres ; l'astrologie est en partie naturelle et en partie surnaturelle. L'astrologie naturelle traite du cours du Soleil, de la Lune et des astres ; l'astrologie surnaturelle cherche des rapports entre les douze signes du zodiaque et les éléments de l'âme et du corps. » — Le mot *mundus*, monde, vient, selon l'auteur, de *motus*, mouvement, « parce que le monde est toujours en mouvement ; » et *cælum*, ciel, de *cælatum*, ciselé, « parce que les figures des constellations y sont ciselées comme sur un vase (*vas cælatum*). » — « La sphère céleste, ajoute le même auteur,

1. La meilleure édition de Martianus Capella, accompagnée de notes, a été donnée par Fréd. Kopp ; Francfort, 1836, in-4°.

2. Voici les paroles mêmes de Copernic : *Minimum contemnendum arbitror quod Martianus Capella scripsit, existimans quod Venus et Mercurius circumerrent Solem in medio existentem.* (*De Revolutionibus orbium cœlestium*, I, 10.)

en tournant en vingt-quatre heures autour de la Terre, va si vite que si les astres, qui vont au-devant d'elle à sa rencontre, n'en retardaient pas le mouvement, elle causerait la perte du monde. » — « L'Orient et l'Occident sont les portes du ciel (*januæ cæli*), parce qu'on y entre par l'une et on en sort par l'autre. »

Bède le Vénérable, moine anglais, né en 675, mort en 735, s'acquit une grande réputation de savant à une époque de barbarie. L'astronomie fut le principal objet de ses études. Il s'aperçut l'un des premiers de l'anticipation de l'équinoxe sur le temps que le concile de Nicée avait fixé, en 325, pour la célébration de la fête de Pâques, et proposa, pour y remédier, une correction assez semblable à celle du calendrier Grégorien, comme on le voit dans ses écrits *De embolismorum ratione; De temporum ratione; De Paschæ celebratione, seu De æquinoctio vernali juxta Anatolium*, etc., imprimés dans le recueil de ses Œuvres; Bâle, 1534, et Paris, 1554, 8 vol. in-fol.

Bède introduisit le premier en Angleterre le cycle Dionysien et l'usage de compter les années depuis la naissance de Jésus-Christ.

Un mot sur le *cycle Dionysien*. Les Églises chrétiennes de l'Orient et de l'Occident s'étaient, dès leur origine, efforcées de mettre le retour de leurs fêtes en accord avec le ciel. Déjà vers l'an 465 le pape Hilaire recourut aux lumières de Victorius d'Aquitaine pour introduire de l'ordre dans le calendrier. Combinant le cycle lunaire (cycle de Méton), de 19 ans, avec le cycle solaire, de 28 ans, Victorius imagina la période de 532 ans, qui est le produit de 19 par 28. Cette période devait avoir l'avantage de ramener la lune de Pâques au même mois et au même jour de la semaine après 532 ans. Cela serait vrai, si l'année était rigoureusement de 365 jours et 6 heures, et que le cycle de Méton fût exactement de 19 ans. Or cela n'est pas, comme nous l'avons montré plus haut.

L'invention n'en était pas moins ingénieuse, et elle aurait mérité de porter le nom de *Victorius*. Mais ce fut Denys (*Dionysius*) le Petit, abbé romain, qui lui donna le sien, par suite d'une correction qu'il y introduisit. Victorius avait fait commencer la première année de son cycle par la Pleine Lune de Pâques, qui suivit immédiatement la mort de Jésus-Christ. Mais Denys le Petit, qui vivait en l'an 525, fit commencer la première année du cycle de 532 ans à l'année qui suivit la naissance de Jésus-Christ.

C'est ainsi que fut introduit dans l'Occident ce qu'on appelle l'*ère chrétienne*. Bède s'aperçut le premier que la période Dionysienne était de deux années en erreur sur la vraie époque de la naissance de Jésus-Christ, ou que l'année vraie de la naissance de Jésus-Christ était de deux années antérieure à l'ère chrétienne.

CHAPITRE II.

ÉCOLES ARABES.

L'histoire des Arabes ne commence véritablement qu'après leurs invasions et leurs conquêtes, multipliées depuis l'apparition de Mahomet. Ils reprirent les sciences là où les avaient laissées les écoles d'Alexandrie et d'Athènes, si brusquement arrêtées dans leur développement.

Les premiers khalifes favorisèrent puissamment cette renaissance, comme l'attestent les écoles de Bagdad et du Caire. Ces souverains, vicaires du Prophète, qui réunissaient entre leurs mains le pouvoir temporel et le pouvoir spirituel, ne dédaignaient pas d'entrer en relation avec les princes chrétiens de l'Occident.

École de Bagdad.

Haroun-al-Raschid envoya, en 807, une ambassade auprès de Charlemagne. Parmi les présents que le chef de l'islamisme adressait à l'empereur chrétien se trouvait une horloge qui marquait les douze heures du jour et de la nuit, et les faisait sonner au moyen de balles tombant

dans un vase d'airain. C'est sous le règne de son successeur que se développa particulièrement le goût des Arabes pour les sciences.

Le khalife Al-Mamoun, qui régna de 814 à 833 de notre ère, stipula expressément, dans un traité de paix qu'il avait dicté à l'empereur Michel III, qu'on eût à lui fournir toutes sortes de livres grecs, et il chargea une commission spéciale de lui expédier de l'île de Chypre, occupée depuis peu par les Musulmans, tous les trésors littéraires qui s'y trouvaient amassés. Un nombre considérable de ces livres furent traduits par son ordre en arabe, et il réunissait, une fois par semaine, dans son palais de Bagdad, les hommes réputés les plus savants, pour leur faire contrôler les travaux des traducteurs.

Ce grand khalife fonda deux observatoires, l'un à Bagdad, l'autre à Damas. Il fit traduire l'*Almageste* et ordonna la révision des Tables de Ptolémée. Les instruments nécessaires à cet effet furent construits par d'habiles artistes et la *Table vérifiée*, dont Yahia Abou-Mansour passe pour le principal auteur, fit bientôt connaître l'ensemble des observations faites simultanément à Bagdad et à Damas.

C'est aussi sous le règne d'Al-Mamoun que furent exécutées deux importantes observations concernant *l'obliquité de l'écliptique*. La première, faite à Bagdad, par Yahia Abou-Mansour, Send ben-Ali et Abbas ben-Saïd, donna, pour la plus grande déclinaison de l'écliptique, 23° 33′, suivant le rapport d'Ibn-Younis. La seconde, faite à Damas, par Khalid ben-Abdoulmelek, Aboul-Taïb et Ali-ben-Isha, surnommé l'*Astrolabe*, parce qu'il excellait dans la fabrication de ces instruments, donna, pour la même déclinaison, 23° 33′ 52″. A cet effet, les astronomes désignés employèrent un instrument de cinquante-deux pieds de longueur, preuve qu'il ne s'agissait que d'un simple gnomon. Leur observation porte, suivant Ibn-Younis, la date de l'an 233 de l'hégire.

Le même khalife ordonna aussi de mesurer la Terre

plus exactement que ne l'avaient fait les anciens. Dans ce but, des géomètres habiles choisirent, raconte Aboulfeda dans ses Annales, la vaste plaine de Sindjar en Mésopotamie. Là, se divisant en deux bandes, dont l'une était dirigée par Khalid ben-Abdoulmelek, et l'autre par Ali ben-Isha, ils allèrent les premiers vers le nord, les seconds vers le midi, en mesurant, chacun une coudée à la main, des lieux géométriquement alignés sur la méridienne. Ils s'écartèrent ainsi les uns des autres, suivant la même ligne, jusqu'à ce que, par l'observation de la hauteur du pôle, ils se fussent éloignés d'un degré du lieu de leur départ. Après quoi ils se réunirent, et ils trouvèrent, les uns 56 milles, les autres 56 2/3, le mille comprenant 4000 coudées. Ce n'était là, au fond, qu'une application de la méthode d'Ératosthène.

La même opération a été rapportée par un autre écrivain arabe, Almassoudi, d'une manière tout à fait différente, en sorte qu'il est impossible d'en déduire un résultat certain.

« Ce qui caractérise, dit M. Sédillot, l'école de Bagdad à son début, c'est l'esprit véritablement scientifique qui préside à ses travaux ; marcher du connu à l'inconnu, se rendre exactement compte des phénomènes pour remonter des effets aux causes, n'admettant comme vrai que ce qui a été démontré par l'expérience, tels sont les principes enseignés par les maîtres ; les Arabes étaient, au neuvième siècle, en possession de cette méthode féconde qui devait être, si longtemps après, entre les mains des modernes, l'instrument de leurs plus belles découvertes[1]. »

C'est là, ce nous semble, un peu surfaire le mérite des Arabes comme observateurs. Mais, avant de jeter un coup d'œil sur leurs travaux astronomiques, il importe de dire un mot de leur ère.

1. A. Sédillot, *Introduction*, p. XXIII, *aux Prolégomènes des Tables astronomiques d'Oloug-Beg* (Paris, 1847).

Ère arabe

Les sectateurs de Mahomet commencent le mois dès qu'ils voient le croissant de la Lune se dégager des derniers rayons du Soleil couchant. Douze de ces mois forment une année, année lunaire. Ils n'ont songé à aucune équation à établir entre le cours de la Lune et celui du Soleil. Aussi le commencement de leur année parcourt-il toutes les saisons en rétrogradant dans un espace de trente-trois de nos années solaires. La première de leurs années lunaires correspond au 16 juillet de l'an 622 de l'ère chrétienne ; c'est là le commencement de l'ère arabe, appelée *Hégire*[1].

L'ère de l'hégire fut adoptée par tous les peuples qui embrassèrent l'islamisme.

Voici le nom et la durée de chacun des mois arabes :

1. *Muharrem*........	30 jours.	7. *Redjeb*...........	30 jours.
2. *Safar*.............	29 —	8. *Schabdan*........	29 —
3. *Rebi el ewab*.......	30 —	9. *Ramadan*........	30 —
4. *Rebi el akir*.......	29 —	10. *Schewal*..........	29 —
5. *Djemadi el ewel*....	30 —	11. *Dsa'lkade*.........	30 —
6. *Djemadi el akir*....	29 —	12. *Ds'lhodje*.........	29 —

Ces mois ne donnent que des années lunaires, chacune de 354 jours, comme dans l'ancien calendrier romain. Ce n'est guère la peine de tant vanter la science astronomique des Arabes. Cependant ils se servent d'années civiles, lorsqu'il s'agit de travaux agricoles, de navigation, enfin de choses où la connaissance de l'année solaire est

1. Le mot arabe *el-hedjra*, d'où l'on a fait *Hégire*, signifie *fuite ;* il rappelle l'époque où Mahomet s'enfuit de la Mecque pour se réfugier à Médine. C'était l'apogée du Prophète ; car, comme le dit Voltaire, Mahomet ne fut jamais plus grand qu'à l'époque où, fugitif la veille, il devint conquérant le lendemain.

indispensable. Ils comptent le jour civil depuis le lever du Soleil jusqu'au lever suivant, et datent la durée des événements par le nombre des nuits.

La division du jour civil en 24 heures, 12 heures pour le jour et 12 heures pour la nuit, le jour équinoxial étant pris pour type, par conséquent abstraction faite des durées variables du jour et de la nuit, paraît être fort ancienne chez les Arabes. Elle est fondée sur le besoin, que les astronomes devaient sentir de bonne heure, d'une division uniforme du temps. Ces 24 parties du jour civil, également réparties sur le jour et sur la nuit, étaient les *heures équinoxiales*, ὧραι ἰσημεριναὶ, des Grecs. Les Arabes les nommaient *essaât elmotathdib*, et les distinguaient des *heures temporaires*, ὧραι καιρικαὶ (heures des jours et des nuits de durée variable) des astronomes grecs.

Lorsqu'on veut réduire une année de l'hégire à une année chrétienne, il faut se rappeler que douze mois synodiques font un peu plus de 354 jours, ou exactement 354 jours 8 heures 49 minutes (en négligeant les secondes), et que 30 années lunaires exactes ou astronomiques font 10631 jours solaires. Or 30 années lunaires civiles, de 354 chacune, ne font que 10620. Il y a donc, tous les 30 ans, 11 jours à intercaler pour faire revenir chaque mois à la première phase de la Lune, ou pour mettre le commencement de l'année civile, c'est-à-dire le 1er du mois de Muharrem, d'accord avec l'horloge céleste. Il faudra ensuite combiner ce calcul cyclique avec les années solaires du calendrier Julien ou Grégorien, et tenir compte de la différence du commencement de l'ère arabe d'avec celui de l'ère chrétienne.

Principaux astronomes de l'école de Bagdad.

Voici en abrégé la vie et les travaux des principaux astronomes de l'école de Bagdad.

Albategni ou *Albatenius*, dont le véritable nom est *Mohammed-ben-Djefar*, né à Baten (d'où le nom d'*Albatenius*) près de Harran en Mésopotamie, commença ses observations vers l'an 264 de l'hégire (877 de J. C.), et les continua jusqu'en 918 de notre ère, tantôt à Rakkat sur l'Euphrate, tantôt à Antioche en Syrie. Son principal ouvrage (*Zydge-Seby*) parut sous le titre *De scientia stellarum* (Nuremberg, 1537, in-8°, et Bologne, 1645, in-4°), traduit en latin barbare par Plato Tiburtinus, et commenté par Régiomontanus. L'original arabe, que l'on croyait longtemps perdu, se trouve à la bibliothèque du Vatican.

Albategni, qui mourut en 929 de J. C., à l'âge de 52 ans, n'a fait le plus souvent que copier Ptolémée, tout en l'abrégeant. On lui doit cependant une innovation importante, bien qu'on ait voulu lui en contester la priorité : c'est la substitution des sinus aux cordes. (Voy. notre *Histoire des Mathématiques.*)

D'après des observations faites à Rakkah ou Aracte (situé sous 36° latitude nord) en l'an 879 de J. C., Albategni trouva 23° 35′ pour l'*obliquité de l'écliptique*. En y ajoutant 44″ pour la réfraction, et retranchant 3″ pour la parallaxe, Lalande a porté cette quantité à 23° 35′ 41″. Mais on peut douter que les observations de l'astronome arabe aient eu toute la précision nécessaire.

Albategni corrigea la valeur du mouvement de précession des équinoxes, que les anciens avaient supposé être d'un degré en cent ans. Il signala le mouvement de l'apo-

gée du Soleil et l'excentricité de l'orbite de cet astre. Mais, suivant M. Sédillot, l'astronome arabe n'a fait ici que copier ses prédécesseurs. « Albategni, si vanté, a joué, dit M. Sédillot, le même rôle chez les Arabes que Ptolémée chez les Grecs ; tous deux ont reproduit l'exposé des connaissances acquises de leur temps, et leurs ouvrages ayant presque seuls surnagé au milieu des révolutions des empires, on n'a point hésité à les regarder comme la dernière expression de la science grecque et de la science arabe. Mais, comme Ptolémée, Albategni fut dépassé par ses successeurs ; comme Ptolémée, il n'a qu'un titre fort contestable à la qualification d'*inventeur*, que certains écrivains s'obstinent à lui donner encore, et le temps n'est pas éloigné où il sera enfin permis de rendre à chacun le bien qu'il lui appartient[1]. »

Rappelons, en passant, que c'est en comparant les observations des Babyloniens et surtout celles d'Albategni avec les observations modernes, que Halley parvint à signaler, dans le mouvement de la Lune, l'accélération à longue période (inégalité séculaire) qui exerça un moment l'esprit des astronomes mathématiciens.

Alfergani (Mohammed-ben-Ketyr), surnommé *el-Hacib*, le calculateur (né à Ferganah, ville de la Sogdiane, mort en 820 de J. C.), prit part à la révision des Tables de Ptolémée, ordonnée par Al-Mamoun. On a de lui des *Éléments d'Astronomie* ou *Le livre des mouvements célestes*, qui fut traduit en hébreu. Il en existe trois traductions latines : la première de Jean de Séville (*Hispalensis*), faite au douzième siècle et imprimée à Ferrare en 1493 (réimprimée à Nuremberg, avec une Préface de Mélanchthon); la seconde de Jean Christmann, d'après une version hébraïque (Francfort, 1540) ; la troisième, avec le texte

1. Sédillot, *Introduction*, p. XXXI, aux *Prolégomènes des Tables astronomiques d'Oloug-Beg*.

arabe, fut publiée par Golius, en 1669, in-4°. On n'y trouve rien de nouveau, si ce n'est des idées, d'ailleurs très-inexactes, sur les orbites et les distances des planètes. L'auteur supposait, entre autres, que toutesles orbites des planètes se touchent, et que l'orbite de Saturne touche à la sphère des étoiles fixes.

On a aussi d'Alfergani deux traités *Sur les instruments astronomiques* les plus usités de son temps. Le premier est consacré à l'*astrolabe*, le second à la construction du *kakhama* (marbre) ou de l'horloge solaire en marbre.

Alkhindi ou *Alchindius*, dont le véritable nom est *Aboul-Yousouf-ibn-Ishak-ibn-Assabah*, de la tribu de Kindah (d'où son nom d'*Alkindi*), vécut longtemps à la cour d'Al-Mamoun. Ses contemporains l'avaient surnommé *le Philosophe*. Il composa, dit-on, plus de deux cents traités sur des matières très-diverses, telles que l'astronomie, l'arithmétique, la géométrie, la médecine, la logique, etc., dont Casiri a donné la liste dans sa *Bibliothèque arabe*. Versé dans la connaissance de la langue grecque, il sut tirer habilement parti des travaux des écoles d'Alexandrie et d'Athènes, et y joignit de savants commentaires. Ses ouvrages sont remplis de faits curieux. On y trouve, entre autres, une observation du passage de Vénus sur le disque du Soleil, en l'an 839 de notre ère [1].

Albumazar, dont le véritable nom est *Abou-Maschar-Djafar-ibn-Mohammed* (né en 776, mort à Wasith en 885 de J. C.), élève d'Alkindi, se livra à l'étude de l'astrologie plutôt qu'à celle de l'astronomie, bien que d'Herbelot, dans sa *Bibliothèque Orientale*, l'appelle le *prince des astronomes de son temps*. Il se posa en ennemi déclaré de la philosophie et des sciences naturelles, comme étant in-

1. M. E.-A. Sédillot, *Introduction*, p. XVIII, aux *Prolégomènes des Tables d'Oloug-Beg*.

compatibles avec la vraie religion, et il ne se mit à étudier les mathématiques qu'à l'âge de quarante-sept ans. On n'a encore publié de lui que ses ouvrages astrologiques, dont l'un a pour titre: *Kitab-oul-Mondakhal*, etc., ou *le Livre de l'introduction à la science de la législation des astres*, traduit en latin, sous le titre d'*Introductorium in Astronomiam* (Augsbourg, 1489, in-4°, réimprimé à Venise en 1506); l'autre est intitulé *Kitab-oul-Kironat* (le Livre de l'élongation), traduit en latin et imprimé par Erhard Ratdolf, Augsbourg, 1489, in-4°, réimprimé à Venise, en 1515, in-4°.

On attribue aussi à Albumazar un traité, intitulé *Olouf* (Un millier d'années), sous le titre de *Flores astrologiæ*, et réimprimé à Augsbourg en 1488. L'auteur soutient, conformément aux idées des astrologues gréco-égyptiens, que le monde fut créé quand les sept planètes étaient en conjonction dans le premier degré du Bélier, et qu'il finira quand elles seront en conjonction dans le dernier degré des Poissons. Il faut ici se rappeler que les astrologues arabes partageaient les signes du zodiaque en quatre classes, et leur attribuaient les propriétés des quatre éléments : le Bélier, le Lion, le Sagittaire, composaient la trinité du *feu;* le Taureau, la Vierge, le Capricorne, la trinité de la *terre;* les Gémeaux, la Balance, le Vaisseau, la trinité de l'*air;* l'Écrevisse, le Scorpion, les Poissons, la trinité de l'*eau*. Ils appelaient *aduar* et *akuar* les cycles ou révolutions diverses qui devaient régler les actions et les événements de la vie humaine: l'aduar comprenait 360 années solaires, et l'akuar 120 années lunaires. Le grand art consistait dans les diverses combinaisons des deux cycles.

Ces idées astrologiques plaisaient beaucoup au khalife Al-Mamoun, surtout celle qui avait pour objet la durée des religions entre lesquelles le monde est partagé. D'après cette idée, dont Albumazar passe pour l'auteur, la religion chrétienne devait subsister 1460 ans, tandis que la religion mahométane n'en devait durer que 544. La première

aurait donc dû finir en 1460, et la seconde en 1166 de notre ère.

Albumazar avait aussi composé des Tables astronomiques, fondées sur la méthode et la chronologie des Persans. A cette occasion il a soin de faire remarquer que les années des Persans ne sont pas identiques avec celles des Juifs, et qu'elles appartiennent à une ère particulière, traditionnelle. Ses ouvrages astronomiques se conservent en manuscrits dans les principales Bibliothèques de l'Europe.

Mousa-ben-Schakir, qui vivait au commencement du neuvième siècle, dans les environs de Bagdad, et se fit connaître par ses *Sources de l'histoire*, fut le père de trois fils, *Mohammed*, *Ahmed* et *Hassan*, tous distingués comme astronomes. Leur observatoire était situé sur le pont de Bagdad, qui aboutissait à la porte de Bab-al-Thac. C'est là qu'ils trouvèrent 33 degrés et 5 minutes (33° 5′) pour la hauteur méridienne du Soleil au moment du solstice d'hiver de l'an 337 d'Iesdegerd (959 de J. C.) ; et ils trouvèrent 80° 15′ pour la hauteur méridienne du Soleil au solstice d'été de l'année suivante. De là ils déduisaient 33° 20′ pour la latitude de Bagdad, à l'observatoire du pont, et 23° 35′ pour l'obliquité de l'écliptique. D'après la Table Hakémite, les trois frères astronomes observèrent l'apogée du Soleil, le 16 juin 632 de notre ère, par 20° 44′ 19″ des Gémeaux, et évaluèrent son mouvement à un degré en 66 années persanes. Pour bien fixer la précession des équinoxes, ils observèrent, en 840 et en 847 de J. C., l'étoile Régulus, et ils reconnurent que, dans cet intervalle de sept ans, elle avait avancé de 6′ 15″, ce qui donnerait 53″ 24‴ par an. Cette estimation (qui est d'environ 3 secondes trop forte) ne fut corrigée qu'un siècle plus tard.

Mohammed, l'aîné des trois frères, avait dressé des Éphémérides pour les lieux des planètes, et les éléments de

ses Tables servirent longtemps dans les calculs. Il eut pour disciple Thébit-ben-Korrah.

Thébit-ben-Korrah, natif de Harran (mort en 900 de J. C.), paraît s'être le premier aperçu de la *variabilité de l'obliquité de l'écliptique*. Sachant qu'Hipparque et Ptolémée avaient trouvé 23° 52′ pour l'obliquité de l'écliptique, il voulut l'observer à son tour pour en contrôler l'exactitude; mais il ne trouva que 23° 33′ 30″, c'est-à-dire 18 $\frac{1}{2}$ minutes de moins.

Thébit attribuait aux points équinoxiaux une sorte de *mouvement libratoire*, d'où il résultait une incertitude sur la longueur de l'année, indiquée par le retour du Soleil à ces mêmes points. Il pensa que, pour plus d'exactitude, il fallait avoir recours à la méthode que les Chaldéens avaient employée pour la détermination de la longueur de l'année relativement à la position du Soleil vis-à-vis des étoiles fixes; et il trouva ainsi $365^j\ 6^h\ 9^m\ 11^s$. Cette année sidérale se rapproche, à une seconde près, de la valeur trouvée par les astronomes modernes ($365^j\ 6^h\ 9^m\ 10^s$. Pour arriver au résultat indiqué, Thébit avait à sa disposition les observations faites depuis le règne d'Al-Mamoun; il regrettait qu'on n'en eût pas recueilli un plus grand nombre, en déclarant hautement que les observations pouvaient seules assurer le progrès de la science.

Les *Benou-Amadjour*, fils d'Amadjour-el-Tarki, rédigèrent la Table *Albedia* (la merveilleuse), et firent, pendant près d'un demi-siècle (de 885 à 933 de J. C.), des observations astronomiques, reproduites par Ibn-Younis

« J'ai observé, rapporte l'un des frères (*Aboul-Hassan-Ali*) plusieurs fois (en 918 de J. C.) Mars comparativement avec Sirius, après avoir bien déterminé la position de l'étoile errante. Le lieu observé était également plus petit que le lieu des Éphémérides, d'un degré et un quart ou d'un degré et un tiers environ. Sa vitesse journalière était aussi différente et plus petite dans les Éphé-

mérides que sa vitesse observée. Mars avait alors un mouvement direct[1].»

École du Caire.

Al-Hakem, sultan d'Égypte (de 990 à 1021 de J. C.), fit construire, vers l'an 996, un observatoire au Caire, d'où sortirent, entre autres, les *Tables Hakémites*. Parmi les astronomes qui contribuèrent à la confection de ces Tables, nous citerons, en première ligne, Aboul-Wéfa et Ibn-Younis.

Aboul-Wéfa (né à Bouzdjan en 939, d'où son surnom d'*el-Bouzdjani*, mort à Bagdad en 998) a publié un *Almageste*, qui résume, en grande partie, les idées de Ptolémée, et dont les premiers chapitres ont été traduits par M. A. Sédillot[2].

L'ouvrage d'Aboul-Wéfa contient un passage relatif à une inégalité du mouvement lunaire, découvert par Tycho-

1. E.-A. Sédillot, *Introduction*, p. XXXVII, aux *Prolégomènes des Tables d'Oloug-Beg*.

2. Les orientalistes Sédillot, membres d'une même famille, ont été souvent confondus entre eux. *Jean-Jacques-Emmanuel* SÉDILLOT, né en 1777, mort à Paris en 1832, a fourni à l'*Histoire de l'Astronomie du moyen âge* de Delambre tout ce qui concerne les Arabes, et a publié le *Traité des instruments astronomiques*, traduit de l'arabe d'Aboul-Hassan-Ali, de Maroc; Paris, 1834-35, 2 vol. in-4°. J.-J.-E. Sédillot a laissé deux fils: l'aîné, *Charles-Emmanuel*, né en 1804, s'est distingué dans la carrière médicale; le cadet, *Eugène-Amédée*, né en 1808, secrétaire du Collége de France, est un de nos premiers orientalistes, comme l'attestent ses travaux nombreux, parmi lesquels nous avons déjà cité les *Matériaux pour servir à l'histoire comparée des sciences mathématiques chez les Grecs et les Orientaux*, Paris, 1845-49, 2 vol.; *Prolégomènes des Tables astronomiques d'Oloug-Beg*, Paris, 1849-53, 2 vol. in-8°. Il faut y joindre: *Les Professeurs de Mathématiques et de Physique générale au Collége de France*, Rome, 1869, in-4°.

Brahé sous le nom de *variation*, et qui aurait été déjà décrit par Aboul-Wéfa sous le nom de la *troisième inégalité* ou l'*inégalité du Mohadzat*. Après avoir décrit les deux premières inégalités de la Lune, l'astronome arabe ajoute (au dixième chapitre) : « Nous avons observé une troisième inégalité qui survient à la Lune dans les temps où le centre de l'épicycle se trouve entre la distance la plus éloignée (apogée) et la distance la plus rapprochée (périgée) de l'excentrique. Et le *maximum* de cela arrive lorsque la Lune est à un *tathlith* ou à un *tasdis* (un *trine* ou un *sextile*). Et nous ne trouvons pas que cela ait lieu dans les conjonctions et les oppositions (syzygies), ni dans les moments des *tarbiât* (quadratures). »

Ce sont les mots *trine* et *sextile*, signifiant les aspects ou élongations de 120 et 60 degrés, qui ont été la principale cause d'une savante controverse qui remonte à 1835 et qui s'est renouvelée tout récemment. Interprétant ces mots par *octants*, M. A. Sédillot soutenait que la *prosneusis* (πρόσνευσις, littéralement *nutation*) de Ptolémée, le *muhadzat* d'Aboul-Wéfa et la *variation* de Tycho-Brahé exprimaient la même idée, c'est-à-dire une déviation du rayon de l'épicycle à l'égard du point autour duquel se faisait le mouvement égal ou moyen, c'est-à-dire le centre du zodiaque[1]. « Seulement, ajoutait-il plus tard, Ptolémée portait cette déviation jusqu'à 1° 26′ dans un des octants, et il en faisait le complément de la seconde inégalité lunaire ou *évection ;* tandis qu'Aboul-Wéfa adoptait un coefficient uniforme, pour les quatre octants, de 45′ environ, déclarant que cette inégalité était indépendante des deux autres, et la dénommant dans un chapitre spécial : *troisième inégalité de la Lune*[2]. »

1. *Nouveau Journal Asiatique*, t. XXXV, p. 436 (année 1835).

2. E.-A. Sédillot, *Matériaux pour servir à l'Histoire comparée des sciences mathématiques chez les Grecs et les Orientaux*, p. 98 (Paris, 1845).

Cette interprétation fut loin de réunir les suffrages de tous les savants.

Les uns, comme Biot et Binet, soutenaient qu'Aboul-Wéfa n'était qu'un copiste inintelligent de Ptolémée, et qu'on lui avait prêté une découverte à laquelle il n'avait même jamais pensé. Les autres, comme M. Mathieu et M. Chasles, partageaient l'opinion de M. A. Sédillot, suivant laquelle Aboul-Wéfa aurait trouvé la troisième inégalité (la *variation*) six siècles avant Tycho-Brahé, époque où les Arabes devaient jouir d'un haut degré de culture intellectuelle.

Enfin il y en avait qui, comme Libri, voyaient dans le texte d'Alouf-Wéfa une interpolation récente, et ils demandaient en même temps pourquoi les écrivains arabes postérieurs avaient ignoré ou laissé ignorer une découverte aussi importante.

L'objection tirée d'une interpolation tomba d'elle-même devant l'authencité bien constatée du manuscrit d'Aboul-Wéfa. Quant à savoir pourquoi les écrivains postérieurs n'ont point parlé de la découverte attribuée à Aboul-Wéfa, c'est une question à laquelle personne n'a pu encore répondre.

Les juges étant ainsi divisés, la discussion ne fit que s'envenimer. Les astronomes reprochaient aux orientalistes d'ignorer l'astronomie, et les orientalistes reprochaient aux astronomes de ne pas savoir les langues orientales. C'était le moyen de continuer à se tourner le dos. Cependant de quoi s'agissait-il au fond? D'une simple et saine interprétation d'un texte arabe. C'est ce que l'on finit par comprendre. A la traduction de M. Sédillot, les astronomes opposèrent celle de Munck, et plus tard celle de Renaud et de Sloane. Munck ne vit point le mot *octant* dans le texte d'Aboul-Wéfa, et il maintint comme seule exacte la traduction de *trine* et *sextile*, aspects différents de ceux des octants.

La polémique semblait éteinte, lorsqu'elle fut tout à

coup ranimée par M. Chasles et M. Bertrand, représentant l'un et l'autre les deux camps opposés. Nous n'entrerons point dans l'analyse de ces débats, que M. Bertrand nous semble avoir parfaitement bien résumés en ces termes : « Trois opinions ont été proposées : 1° Aboul-Wéfa a découvert la *variation*, et la substitue, dans sa théorie de la Lune, à la *prosneuse* (πρόσνευσις) de Ptolémée ; 2° Aboul-Wéfa a découvert la variation, et l'adjoint, dans sa théorie de la Lune, à la *prosneuse* de Ptolémée ; 3° Aboul-Wéfa n'a rien découvert, et s'est borné à exposer de son mieux la théorie de Ptolémée. Supposons trois lecteurs d'Aboul-Wéfa, partisans chacun de l'une des opinions précédentes et se proposant de déduire de son texte la position de la Lune, aujourd'hui 29 août 1871, à midi. Que devra faire le premier? Construire l'excentrique et l'épicycle de Ptolémée, et, se mettant d'accord avec l'observation au commencement du mois actuel, chercher pour aujourd'hui la situation des deux cercles et la position de la Lune sur l'épicycle. Après avoir ainsi tenu compte des deux premières inégalités, pour avoir égard à la variation il consultera le texte d'Aboul-Wéfa ; il y verra qu'elle est nulle dans les quadratures, nulle dans les syzygies, maxima dans les octants, et égale alors à 45 minutes environ. Nous ne sommes aujourd'hui ni en quadrature, ni en syzygies, ni dans un octant, et rien de cela, par conséquent, ne lui donne le moyen de calculer l'inégalité ou de la construire ; il continuera donc sa lecture, et trouvant enfin la construction prescrite par Aboul-Wéfa, il ne manquera pas de l'exécuter ; cette construction est celle de Ptolémée, et il eût placé la Lune exactement au même point que l'eût fait Ptolémée. — Que devra faire le second? Construire, comme le premier, l'excentrique et l'épicycle, placer la Lune au même point de l'épicycle, faire alors la correction de la *prosneuse*, et se mettre en devoir, selon les indications d'Aboul-Wéfa, d'y adjoindre la variation. Il cherchera donc à faire tourner l'axe de l'épi-

cycle vers le point dont la distance au centre du monde, vers le côté du périgée, est égale à la distance qui est entre le signe du zodiaque et le centre de l'excentrique. N'éprouvera-t-il pas quelque étonnement en voyant que, par suite de la construction de la *prosneuse*, l'axe de l'épicycle est déjà dirigé vers ce point? Il renoncera donc à le faire tourner, et le laissant où il est, il placera la Lune précisément au même point que l'eût fait Ptolémée. — Et le troisième? Il suivra, en le sachant, la théorie de Ptolémée, que les deux autres suivaient sans le savoir. Les partisans des trois opinions se mettront-ils pour cela d'accord? Je n'ose l'espérer, — nous sommes entièrement de cet avis, — ils discuteront sans doute encore longtemps sur le mérite d'Aboul-Wéfa, lui concéderont ou lui refuseront la découverte de la variation; mais les deux premiers comprendront aussi bien que le troisième pourquoi son livre est resté sans influence sur la construction des Tables lunaires chez les Arabes[1]. » — Voilà ce qu'il importait de faire ressortir : si Aboul-Wéfa a réellement découvert la *variation*, on aura lieu de s'étonner qu'aucun astronome antérieur à Tycho n'en ait parlé. La découverte de l'astronome arabe était donc, par cela même, comme non avenue.

Ibn-Younis, mort en 1008 de J.-C., est l'un des principaux auteurs de la *Grande Table* ou *Table Hakémite*, que les Arabes regardent comme l'ouvrage le plus important qui ait paru en ce genre dans leur langue. On y trouve tout ce qui concerne la pratique des instruments astronomiques, le calcul et l'usage des tables chronologiques et trigonométriques. Voici comment l'auteur s'exprime dans sa Préface. « Au nom du Dieu clément et miséricordieux. L'étude des corps célestes n'est point étrangère à la reli-

1. M. Bertrand, dans le *Journal des Savants*, octobre 1871. — Voyez la réponse de M. Chasles et la réplique de M. Bertrand, dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 14 avril 1873.

gion. Cette étude seule peut faire connaître les heures des prières, le temps du lever de l'aurore, où celui qui veut jeûner doit s'abstenir de boire et de manger; la fin du crépuscule du soir, terme des vœux et des devoirs religieux; le temps des éclipses, temps dont il faut être prévenu pour se préparer à la prière qu'on doit faire en pareil cas. Cette même étude est nécessaire pour se tourner toujours, en priant, vers la Kaaba, pour déterminer le commencement des mois, pour connaître certains jours douteux, le temps des semailles, de la pousse des arbres et de la récolte des fruits, la position des lieux par rapport à un autre, et pour voyager sans s'égarer. Le mouvement des corps célestes étant ainsi lié à des préceptes divins, et les observations du temps du khalife Al-Mamoun étant déjà anciennes et donnant lieu à des erreurs comme celles faites précédemment par Archimède, Hipparque, Ptolemée et d'autres, notre maître et seigneur l'iman Hakem a ordonné d'observer les corps célestes dont le mouvement est rapide (la Lune, Mercure et Vénus) et plusieurs de ceux dont la marche est plus lente (Mars, Jupiter et Saturne[1]). » Ce passage a quelque intérêt, parce qu'il montre comment les Arabes, fanatisés par les prédications de Mahomet, comprenaient l'utilité de l'astronomie.

Hassan-ben-Haïthem, mort en 1038, vivait au Caire, ville qui possédait alors une bibliothèque contenant plus de six mille manuscrits sur l'astronomie et les mathématiques, sans compter deux globes célestes fabriqués l'un par Ptolémée, l'autre par Abderrhaman-Soufi. Il écrivit un Commentaire sur l'Almageste, et un autre sur les définitions qui sont dans les Éléments d'Euclide. Peut-être est-il l'auteur du Traité d'optique traduit et publié par Risner, sous le titre : *Alhazen Opticæ thesaurus*, *libri VII*, etc.

1. Voyez Reinaud, dans son *Introduction à la Géographie d'Aboulféda*.

Les observations astronomiques ordonnées par le sultan seldjoukide Gelal-Eddin (1072-1092) conduisirent, en 1079, à une réforme du calendrier, qui précéda de cinq siècles la réforme Grégorienne. Les astronomes d'alors, adoptant les déterminations d'Ibn-Younis, firent l'année solaire de $365^j\ 5^h\ 48^m\ 49^s$ et formèrent l'*ère Gélaléenne* en prenant pour base de ce calcul la période $\frac{7}{29} + \frac{4 \times 8}{4 \times 33} = \frac{39}{161}$ [1].

Écoles arabes de l'Occident (Maroc et Espagne).

On n'a que des renseignements fort incomplets sur l'état jadis si florissant des écoles de l'Espagne et de l'Afrique occidentale. Cordoue, Séville, Grenade, Tolède, etc., possédaient de riches bibliothèques, ainsi que des Académies où les mathématiques et l'astronomie étaient enseignées. Mais les noms des maîtres de la science, juifs ou mahométans, nous sont presque aussi inconnus que leurs œuvres. En voici cependant quelques-uns, qui ont échappé à l'oubli.

Arzachel (Abraham), astronome juif de Tolède, vivait vers l'an 1080 de J. C. Suivant Rhéticus, il est l'auteur des *Tables Tolétanes*, ainsi nommées parce qu'elles sont calculées pour le méridien de Tolède. Ces tables ont servi de base, ainsi que celles d'Albategni, aux *Tables Alphonsines*. Arzachel fit une série d'observations pour déterminer le mouvement de l'apogée du Soleil et la valeur exacte de la précession des équinoxes : elle était, suivant lui, de $49'' \frac{1}{2}$ à $50''$ par an, ce qui ne s'éloigne pas beaucoup de la valeur trouvée par les astronomes modernes. L'instrument astronomique qui porte son nom, le *Shafiah* d'Arza-

1. E.-A. Sédillot, *Introduction*, p. XCVI, aux *Prolégomènes d'Oloug-Beg*.

chel, montre que cet observateur était également initié à la partie mécanique de la science. On voit par cet instrument, dont la Bibliothèque nationale de Paris possède un modèle, qu'Arzachel faisait tourner le centre de l'excentrique dans un petit cercle pour expliquer la différence qu'il trouvait entre l'excentricité du Soleil et celle qu'indiquait Albategni. On montrait d'Arzachel des horloges qui faisaient, selon Al-Makkari, l'admiration de Tolède. La même bibliothèque de Paris possède la traduction latine de divers petits traités d'Arzachel, qui font regretter la perte des principaux ouvrages de ce savant.

Geber, dont le véritable nom est *Djaber-ben-Afflah*, vivait à Séville, quelque temps après Arzachel. Il ne faut pas le confondre avec Geber le chimiste. Geber l'astronome est l'auteur d'un petit traité que Gérard de Crémone a traduit en latin sous le titre de *Gebri filii Affla Hispalensis De Astronomia libri IX, in quibus Ptolemæum emendavit*, etc. (Nuremberg, 1533), dont Delambre a donné une courte analyse. L'auteur dit, dans sa préface que la lecture de Ptolémée est difficile à cause de la prolixité des détails, et qu'en certains endroits son langage est obscur par trop de concision. Geber se proposait de rendre l'intelligence de Ptolémée plus facile en employant une méthode plus simple, et de démontrer ce que l'astronome grec avait établi sans preuves. Son ouvrage est, en somme, une critique sévère plutôt qu'un abrégé de l'*Almageste* de Ptolémée.

Le célèbre médecin et philosophe *Averrhoës* (nom corrompu de l'arabe *Aben-Rochd*), né à Cordoue en 1120 de J. C., et mort au Maroc en 1198, s'était également occupé d'astronomie, comme le montre son *Abrégé de l'Almageste*, qui existe, en hébreu, dans les manuscrits des principales bibliothèques de l'Europe. Cet abrégé n'a pas même été traduit en latin, bien que Vossius, Pic de la Mirandole, et d'autres érudits en eussent eu connaissance.

Pendant que la science arabe essayait de prendre racine dans l'Occident de l'Europe, la partie occidentale du nord de l'Afrique ne resta pas inactive : Ceuta et Tanger, Fez et Maroc, rivalisaient d'ardeur avec Tolède, Cordoue, Séville et Grenade. Mais parmi les nombreux professeurs des écoles africaines, Alpétrage et Aboul Hassan nous sont seuls connus.

Alpétrage observa, vers 1156, au Maroc, l'obliquité de l'écliptique. Mécontent de cette complication d'excentriques et d'épicycles que Ptolémée faisait tourner autour de centres vides, il proposa un système nouveau qui, bien que depuis longtemps tombé dans l'oubli, témoigne d'une tendance heureuse à se débarrasser des fausses hypothèses de l'antiquité. Son traité de *La théorie des Planètes* a été traduit de l'hébreu en latin par Calonymus· Venise, 1531.

Aboul-Hassan, qui écrivait au commencement du treizième siècle, parcourut le midi de l'Espagne et une partie de l'Afrique de l'est à l'ouest, dans une étendue de 90 lieues, et détermina la latitude de 41 villes. Outre un traité *Sur la manière d'observer la Nouvelle Lune*, et un autre *Sur les sections coniques*, il a composé un ouvrage intitulé : *Commencements et Fins*, dont la première partie a été traduite par J.-J. Sédillot et publiée sous le titre de *Traité des instruments astronomiques* (Paris, 1834 et 1836, 2 vol. in-4°). C'est, suivant Hadji-Khalfah (*Dictionnaire biographique arabe*), l'ouvrage le plus complet qu'aient composé les Arabes sur les instruments astronomiques. On y trouve exposée toute la gnomonique, que l'on croyait perdue, et des Tables précieuses, dont l'une a été dressée pour l'époque astronomique du commencement de l'hégire (le jeudi 15 juillet 622 de J. C., à midi).

Écoles persanes et mongoles.

La destruction du khalifat du Caire en 1171 par Saladin, celle du khalifat de Bagdad par Houlagou, khan des Mongols, en 1258, les conquêtes de Mahmoud le Gaznévide et l'invasion des Turcs seldjoukides, tous ces événements, réunis aux croisades, modifièrent profondément la situation politique de l'Orient et de l'Occident, et paralysèrent le mouvement scientifique. C'est à peine si quelques noms ont survécu à cette funeste période.

Le khan Houlagou, maître de Bagdad, accueillit à sa cour les hommes les plus distingués par leur savoir en mathématiques et en astronomie; et c'est ainsi que les Mongols de la Perse rendirent aux écoles arabes une partie de leur ancien éclat. Parmi les plus illustres des savants accueillis par le khan Houlagou, on cite celui dont le nom suit.

Nassir-Eddin Thousi, né à Thous dans le Khorasan en 1201, mort à Bagdad en 1274, fut chargé par Houlagou de la construction d'un observatoire à Méragah dans l'Adzerbéidjan. Cet observatoire, élevé sur une montagne à l'ouest de la ville, était construit de manière que les rayons du Soleil, pénétrant par l'ouverture pratiquée en haut du dôme, se projetassent sur le mur de l'intérieur : cette projection de rayons indiquait, par degrés et minutes, le mouvement diurne du Soleil, la succession des saisons, ainsi que les hauteurs solstitiales et équinoxiales. C'était une nouvelle application du gnomon percé, déjà employé par les Arabes. On avait réuni dans le même édifice une bibliothèque et des instruments astronomiques, tels que des armilles, un cercle mural, que l'on a comparé à celui de Tycho-Brahé, des quarts de cercle mobiles, des sphères célestes et terrestres, des astrolabes de toute sorte, etc.

Aidé dans ses observations par Al-Oredhi de Damas, par Al-Khalathi de Tiflis, par Al-Maraghi de Mossoul, et d'autres, Nassir-Eddin composa les *Tables Ilkhaniennes*, qui existent en manuscrit à la Bibliothèque nationale de Paris, sous le n° 183. Ces Tables, qui ne sont qu'une reprodution modifiée de la Table Hakémite d'Ibn-Younis, furent corrigées par Gaïath-Eddin Al-Khatibi; elles servaient dans toutes les écoles jusqu'au temps d'Ibn-Schathir, qui y apporta, en 1360, quelques changements. Il n'en a été fait jusqu'à présent que des extraits, traduits en latin, sous le titre de *Tabulæ geographicæ* (Leyde, 1648, et Londres, 1652, in-4°). Cette dernière édition forme le tome VII des *Geographi minores* de Hudson.

Schah Cholgui, qui vivait vers 1260, commenta (en persan) les Tables *Ilkhaniennes*. Greaves en a publié un extrait sous le titre de *Astronomica quædam ex traditione Shah Cholgii Persæ, una cum hypothesibus planetarum*; Lond., 1642. On y remarque que les théories planétaires des Arabes, des Persans, des Indiens sont à peu près les mêmes que celles de Ptolémée.

Ibn-Schathir, qui vivait vers le milieu du quatorzième siècle, hérita de la renommée de Nassir-Eddin Thousi. Pendant que cet astronome faisait ses observations à Damas, le fameux émir de Kesch, Tamerlan, fonda un empire colossal et fixa sa résidence à Samarkande. Cette ville fut un moment la plus opulente de l'Orient. Tamerlan y avait attiré les savants les plus célèbres et fondé une Académie des sciences. Son fils et successeur, Shah Rokh, créa une magnifique bibliothèque, et profita de ses relations avec les principaux souverains de l'Europe pour acquérir les manuscrits les plus précieux et les plus rares. Même après que ce prince eut transporté sa cour à Hérat, Samarkande ne perdit rien de sa splendeur. Son fils Oloug-Beg se livra tout entier à son goût pour les sciences exactes. Il mérite donc ici une place spéciale.

Oloug-Beg (*Mohammed Turaghi*), petit-fils de Tamerlan,

naquit à Sultanieh en 1393 de J.-C. Chargé, en 1409, du gouvernement du Turkestan et de la Transoxiane, il préféra l'astronomie à la politique. Il fit construire à Samarkande un collége, qui passa pour une merveille du monde. Les astronomes Djijath-Eddin Djimschid, Cadizede-Rumæus et Alkush-dji, travaillèrent successivement aux Tables qui portent le nom d'Oloug-Beg, dont on s'est servi longtemps et qui étaient même préférées aux Tables Ilkhaniennes de Nassir-Eddin. Thomas Hyde a publié, d'après trois manuscrits persans, les Tables des étoiles sous le titre de *Tabulæ longitudinis et latitudinis stellarum fixarum*, *ex observatione Ulugh Beighi Tamerlani magni nepotis*, etc.; Oxford, 1665. Ces Tables ont été faites à l'Observatoire de Samarkande, fixé à 99° 16′ longit. et 39° 37′ lat., par Oloug-Beg lui-même. Leur époque est le commencement de l'an 841 de l'hégire (1437 de J. C.). La position des étoiles a été déterminée à l'aide d'un énorme cercle, dont le rayon égalait, dit-on, la hauteur de Sainte-Sophie à Constantinople. Les Tables sont imprimées en latin et en persan; à la suite des longitudes et des latitudes on trouve les noms des principales étoiles. Les Tables astronomiques proprement dites, comprenant les mouvements du Soleil, de la Lune, des planètes, sont restées inédites. M. E.-A. Sédillot a publié le texte des *Prolégomènes* des Tables astronomiques, avec des notes et variantes, et précédées d'une Introduction, Paris, 1847, in-8 [1]. La première partie est une sorte de préface, où l'auteur emploie les formes les plus emphatiques et les plus obscures pour exposer les motifs qui l'ont porté à écrire cet ouvrage et pour faire connaître les noms des savants qui l'ont aidé dans son travail. C'est un échantillon de style oriental, presque intraduisible, mais historiquement précieux. La seconde partie est consacrée à l'énumération des principales ères des peuples orientaux; elle ne nous est

1. E.-A. Sédillot, *Introduction*, p. CXXXV.

connue que par une version latine de Greaves (Gravius, *De Epochis celebrioribus*). Les trois dernières parties, restées jusqu'à ce jour inédites, traitent de la connaissance des temps, de la théorie du mouvement des planètes et de certains calculs astronomiques, qui se rattachent à l'astrologie judiciaire.

Oloug-Beg venait de mettre la dernière main à ses Tables (en 1449 de J. C.), lorsque, interrogeant les astres, il s'imagina, d'après certaines combinaisons planétaires, qu'il périrait par le poignard de son fils aîné Abdallatif. Par suite de cette crainte, il confia à son fils cadet, Abdal-Aziz, les charges dont il avait investi le premier. Abdallatif, blessé dans son amour-propre, leva l'étendard de la révolte. Oloug-Beg marcha à la rencontre du fils rebelle. Après trois mois de guerre, il fut abandonné d'un de ses généraux, qui alla mettre le siége devant Samarkande. Oloug-Beg courut vers sa capitale, en fit lever le siége, y rentra, en nomma gouverneur son second fils, et retourna au-devant de l'aîné. Vaincu et mis en fuite, il résolut de se retirer dans le Turkestan. Mais, changeant de dessein, il revint à Samarkande, dans l'espoir qu'Abdallatif n'oserait pas attenter à la vie de son père. Abdallatif lui fit d'abord bon accueil; mais peu de temps après il le fit assassiner, pendant une promenade aux bords de la rivière de Samarkande.

Avec Oloug-Beg finit la période des travaux astronomiques et mathématiques de l'Orient islamite.

CHAPITRE III.

L'ASTRONOMIE DANS L'OCCIDENT CHRÉTIEN DE L'EUROPE, DEPUIS LE SEPTIÈME SIÈCLE JUSQU'A LA FIN DU MOYEN AGE.

L'Angleterre et l'Irlande étaient aux septième, huitième et neuvième siècles, le séjour des principaux savants de l'Europe, presque tous moines. Nous ne mentionnerons que les plus connus.

Héméalde, qui vivait vers 680, est auteur d'un écrit *De rebus mathematicis*, qu'il avait envoyé à Bède qui, de son côté, lui adressa un opuscule, sous forme d'épître, *De ratione quadrantis anni et bissexto*. Il observa quelques éclipses, qui devaient servir à fixer des dates.

Adhelm ou *Andhelm*, abbé de Malmesbury, petit-fils d'Ina, roi des West-Saxons, écrivit un petit traité *De Cyclo paschali*, à l'usage des Bretons qui s'obstinaient à célébrer la Pâque contrairement au terme décrété par le concile de Nicée et adopté par le reste de l'Église latine.

Alcuin, né en 735, mort en 804, disciple de Bède et précepteur de Charlemagne, passe pour l'auteur de plusieurs écrits d'astronomie et de mathématiques, tels que *De cursu et saltu Lunæ*, *De reperienda Luna per XIX annos*,

imprimés dans les *Œuvres* d'Alcuin (Ratisbonne, 1772, 2 vol. in-fol.).

Au dixième siècle, qu'on pourrait surnommer le *siècle barbare* par excellence, nous n'avons à mentionner qu'*Abbon*, abbé du monastère de Fleury, de l'ordre de Saint-Benoît, et son disciple Gerbert. Abbon fut envoyé deux fois à Rome, en 980, par Robert, roi de France, pour apaiser Grégoire V, qui voulait mettre le royaume en interdit. Il périt, en 1004, dans une querelle qui s'était élevée entre les Français et les Gascons. Abbon écrivit sur l'astronomie et les mathématiques divers traités, qui sont restés inédits.

Gerbert, devenu pape sous le nom de *Sylvestre II*, appartient plus particulièrement à l'histoire des mathématiques. Il n'était pas cependant étranger à l'astronomie, comme le fait, entre autres, voir sa lettre au frère Ada. Il y est question d'une sorte d'horloge (*horologium*) annuelle, où se trouve, à partir des équinoxes, indiquée la durée variable du jour, comparativement à la durée complémentaire de la nuit[1].

S'appuyant sur un passage de la Chronique de Ditmar (évêque de Mersebourg, mort en 1019), on a voulu faire passer Gerbert pour l'inventeur du télescope. Voici ce passage : *G. in Magdeburgo horologium fecit, illud recte constituens, considerata per fistulam quamdam stella nautarum duce.* Mais rien ne dit que ce tube, *fistula*, par lequel le constructeur de l'horloge regardait l'étoile polaire, « guide du navigateur, » *stella nautarum dux*, fût une lunette d'approche ou tout autre instrument analogue. Il s'agissait évidement ici d'un simple *tube d'orientation*. On sait que, pour s'orienter, les anciens se servaient d'un tube en bois ou en métal; d'abord, parce que ce tube, exactement dirigé sur l'étoile polaire immobile, pouvait, pendant le mouvement diurne, rester en place pour indiquer toujours le point nord; ensuite, parce que par ce moyen on

1. M. A. Olleris, *Œuvres de Gerbert*, p. 85 (Clermont, 1867, in-4°).

aperçoit plus nettement l'astre qu'on isole ainsi par une sorte de pointage. Voilà, selon nous, tout le secret de ces tubes d'observation, dont avaient déjà parlé Aristote, Strabon, etc., et sur lesquels on a tant discuté [1].

Au onzième siècle, nous ne voyons, comme dignes d'être mentionnés, que le bénédictin *Adelbold* et Herman *Contractus*. Le premier appartient à l'histoire des mathématiques. Le second, né en 1013, fut surnommé *Contractus*, à cause de sa taille raccourcie. Il étudia l'astronomie à l'école du riche monastère de Saint-Gall, et mourut, en 1054, abbé de Reichenau, sur les bords du lac de Constance. Outre une Chronique, souvent citée, on a de lui un ouvrage sur l'astrolabe, divisé en deux parties, dont la première traite *De mensura astrolabii*, et la deuxième, *De utilitatibus astrolabii*, imprimé dans le t. IV du *Thesaurus anecdotorum novissimus*.

Guillaume, abbé de Hirschau, et Robert *Lorrain*, évêque d'Hereford et ami de Guillaume le Conquérant, tous deux contemporains d'Herman Contractus, paraissent avoir également écrit des traités (restés inédits) sur l'astronomie et les mathématiques.

Au douzième siècle, nous avons à mentionner *Jean de Séville*, qui traduisit les *Eléments astronomiques* d'Alfragani (imprimés en 1493); *Rodolphe de Bruges*, qui traduisit de l'arabe en latin le *Planisphère de Ptolémée* (imprimé en 1507), et *Platon de Tivoli*. A ce dernier,

1. La preuve qu'on se servait depuis longtemps de simples tubes sans verre, c'est la comparaison qu'en fait Aristote (*De generatione animalium*, lib. XV). Il compare les tubes avec lesquels on regardait les astres à l'une des mains, à demi fermée avec les doigts, qu'on applique à l'œil pour mieux voir, ou à l'effet d'un puits du fond duquel on voit les étoiles en plein jour. C'est ce qui donne aussi l'explication de ce dessin d'un manuscrit, cité par Mabillon, qui représente Ptolémée observant le ciel avec un tuyau. Quant au fameux passage de Strabon, où il serait question « de rayons visuels se brisant comme s'ils passaient par des tuyaux, » il a été mal interprété par les commentateurs

plus connu sous le nom latinisé de *Plato Tiburtinus*, on doit les traductions latines suivantes, faites de l'arabe : *Traité d'Astronomie* d'Albategni, traduction citée au treizième siècle par Guillaume d'Auvergne, évêque de Paris, et imprimée à Nuremberg en 1537 ; les *Sphériques* de Théodose de Tripoli, imprimés à Venise en 1518, et à Paris en 1558 ; un Opuscule astrologique d'Almanzor, Venise, 1493, réimprimé en 1519 ; un traité d'Abualcasin, fils d'Asafar, *Sur la construction et l'usage de l'astrolabe*, conservé en manuscrit à la Bibliothèque du Vatican[1].

Parmi ces traducteurs, *Gérard de Crémone*, né en 1114, mort en 1187, mérite une mention spéciale. Pour s'instruire auprès des Maures de l'Espagne, alors dépositaires et interprètes des trésors scientifiques de l'antiquité, il vint à Tolède apprendre l'arabe, et se mit à traduire de l'arabe en latin beaucoup d'ouvrages de mathématiques, d'astronomie et de médecine. Il ne faut pas, comme on l'a fait, le confondre avec Gérard de Sabbionetta, qui vivait un siècle plus tard. Le prince B. Boncompagni a le premier parfaitement distingué les deux Gérard et donné la liste des travaux que l'on peut avec certitude attribuer à chacun d'eux[2]. Gérard de Crémone a traduit de l'arabe en latin le *Traité d'Astronomie* de Giaber-ben-Afflah de Séville (imprimé à Nuremberg, 1585, in-fol.), et l'*Almageste* de Ptolémée. Cette traduction (Venise, 1515, in-fol.) contient un grand nombre de mots arabes dont Gérard ignorait probablement les équivalents latins.

Au treizième siècle, quelques hommes d'élite essayèrent de sortir de ce sommeil léthargique, qui semblait s'appesantir sur tout le moyen âge. On vit alors apparaître Léonard de Pise, Albert le Grand, Jean de Holywood,

1. B. Boncompagni, *Delle versioni fatte da Platone Tiburtino, traduttore del secolo duodecimo Notizie raccolte*; Rome, 1851, in-4°.

2. B. Boncompagni, *Della vita e delle opere di Gherardo Cremonese e di Gherardo de Sabbionetta*, etc.. Rome, 1851, in-4°.

Campanus de Novarre, Roger Bacon, Gérard de Sabbionetta, Alphonse de Castille, etc.

Léonard de Pise a sa place dans l'histoire des mathématiques. Nous en dirons autant de Jean de Holywood (Sacro-Bosco) et de Campanus de Novarre. Nous pouvons donc nous dispenser d'en parler ici.

Albert le Grand (né en 1193, mort en 1280), qui s'acquit par son savoir encyclopédique la dangereuse renommée d'un magicien, appartient à l'histoire de la chimie et des sciences naturelles, plutôt qu'à celle des mathématiques et de l'astronomie. Le recueil de ses Œuvres (21 vol. in-fol., Lyon, 1651) ne contient aucun écrit qui se rapporte directement à l'astronomie. La construction de ses fameux automates suppose cependant quelques connaissances mathématiques.

Roger Bacon, surnommé le *Docteur admirable* (né à Ilchester en 1224, mort à Oxford en 1294)[1], fut incontestablement l'esprit le plus éclairé de son siècle. Dans son *Opus majus* (publié en 1744, par Jebb, in-fol., Londres), dont son traité de la *Perspective* et ses *Specula* ne sont que des morceaux détachés, on trouve des remarques fort curieuses sur la réfraction astronomique, sur la grandeur apparente des objets, sur les apparences du Soleil et de la Lune à l'horizon, etc.

On s'est appuyé sur un passage de l'*Opus majus* pour attribuer à Roger Bacon l'invention des lunettes d'approche. Mais, en examinant plus attentivement ce passage, on voit qu'il n'y est aucunement question d'un instrument d'optique. L'auteur parle seulement d'objets considérablement grossis par réfraction, quand on les regarde à travers un milieu transparent quelconque, tel que le verre, l'eau, etc., et qu'on donne à ce milieu une forme appropriée, comme celle d'un segment de sphère[2]. Mais

1. Voyez notre *Histoire de la Chimie*, t. I, p. 396 et suiv.
2. Voici le texte de ce passage : *De visione majora sunt; nam de*

c'est ce que savaient déjà, en partie, les anciens. Il faut cependant reconnaître que des principes posés par Roger Bacon à la fabrication des verres lenticulaires il n'y avait qu'un pas. Si cet homme de génie n'a pas lui-même fabriqué de ces verres, — ce que nous ne pouvons ni nier, ni affirmer absolument, — il n'en est pas moins certain que l'invention des besicles (lunettes de presbytes et de myopes) coïncide avec le siècle de Roger Bacon.

Gérard de Sabbionetta (nom d'un petit bourg près de Crémone) se fit la réputation d'un grand astrologue par ses *Judicia super multis quæstionibus naturalibus ac annorum mundi revolutionibus*, qui existent en manuscrit (n° 4083) à la Bibliothèque du Vatican. Sa *Theorica Planetarum* parut pour la première fois à Ferrare en 1472, in-4°, et fut souvent réimprimée à la suite de la *Sphæra* de Sacro-Bosco. Scandalisé du succès qu'avait obtenu cet ouvrage, Régiomontanus l'attaqua vivement dans ses *Disputationes contra Cremonensia in Planetarum Theoricam deliramenta*. Le *Geomantiæ astronomicæ Libellus* de Gérard de Sabbionetta a été imprimé dans le premier volume des Œuvres de Corneille Agrippa (Lyon, sans date, 2 vol. in-8°), et traduit en français sous le titre de *Géomantie astronomique* de Gérard de Crémone (Paris, 1615, in-8°)[1].

Alphonse X, surnommé le Sage (*el Sabio*), c'est-à-dire *le Savant* (mort en 1284), qui espérait un moment joindre

facili patet per canones supradictos quod maxima possunt apparere minima, et e contra et longe distantia videbuntur propinquissima, et e converso. Nam possumus sic figurare perspicua, et taliter ea ordinare respectu nostri visus et rerum, quod frangentur radii et flectentur quorsumcumque voluerimus et sub quocumque angulo voluerimus, et videbimus rem longe vel prope, et sic incredibili distantia legeremus litteras minutissimas et pulveres ex arena numeraremus, etc. (*Opus majus*, p. 357.)

1. Voyez la liste complète des traductions latines de Gérard de Sabbionetta, dans B. Boncompagni, *Della vita e delle opere di Gherardo Cremonese e de Gherardo di Sabbionetta* (Rome, 1851, in-4°).

l'empire germanique à la couronne de Castille et de Léon, eut de nombreux démêlés avec les Maures, avec la cour de Rome et avec presque tous les souverains de l'Europe. Malgré les agitations politiques de son règne, il trouva assez de loisir pour se livrer à l'étude de l'astronomie et de la chimie, ou plutôt de l'astrologie et de l'alchimie. Ses connaissances, de beaucoup supérieures à son siècle, ses relations avec les savants juifs et arabes, ses allures indépendantes vis-à-vis du pape et le sans-gêne avec lequel il disposait des riches revenus du clergé, lui avaient attiré le reproche d'impiété. C'est à ce roi qu'on attribue un propos d'une authenticité contestable, à savoir que si Dieu, avant de créer le monde, avait voulu le consulter, il aurait pu lui donner quelques bons conseils.

Ce qui a le plus contribué à perpétuer la mémoire du roi Alphonse, ce sont les Tables astronomiques qu'il fit rédiger et qui sont connues depuis sous le titre de *Tables Alphonsines*. A cet effet, il avait, dès 1240, réuni à Tolède les plus habiles astronomes de son temps, Juifs ou Maures, parmi lesquels on cite Ibn-Mousa, Joseph ben-Ali, Jacob Abuena, Samuel et Jehuda El-Coneso. Ces réunions étaient présidées par le juif Isaac-ben-Saïd; selon d'autres, par Alcabitius et Abou-Ragel, maîtres d'astronomie d'Alphonse. Les Tables Alphonsines, auxquelles on avait travaillé pendant quatre ans, et dont les frais s'élevaient à 40000 ducats, somme énorme pour ce temps, parurent le 30 mai 1252, jour de l'avénement d'Alphonse et furent imprimées pour la première fois à Venise en 1453; cette édition, qui comprend 24 feuillets, est extrêmement rare [1]. Le principal mérite de ces Tables, qui ont remplacé avec avantage celles de Ptolémée, consiste dans la correction de quelques époques, et dans une détermination plus exacte de la longueur de l'année.

1. Il y a d'autres éditions, moins rares, de 1492, 1521, 1545, etc., qui se trouvent indiquées dans la *Bibliographie astronomique* de Lalande.

Elles fixent le lieu de l'apogée du Soleil, pour l'année 1252, au 28e degré 40 minutes des Gémeaux, ce qui est exact à un degré et demi près. Mais les calculs s'y trouvent inutilement compliqués par un système de précession des équinoxes purement imaginaire, connu sous le nom de la *trépidation des fixes*.

Ce système consiste en ce que les auteurs des Tables Alphonsines attribuent aux étoiles un mouvement inégal en longitude, tantôt accéléré, tantôt moyen, tantôt retardé; pour le représenter et l'assujettir au calcul, ils imaginèrent un cercle de 18 degrés de rayon, dont le centre devait parcourir l'écliptique en 49 000 ans, pendant que les points équinoxiaux de la sphère des étoiles parcouraient la circonférence de ce cercle en 7000 ans. Le choix de ces nombres, où le *sept* joue un si grand rôle, atteste la part qu'avaient prise à l'œuvre les juifs cabbalistes.

Ce fut de cette même réunion de savants, convoqués et hébergés à Tolède par le roi Alphonse, que sortit le Code de la science astronomique, *Libros del saber de astronomia*, qu'a publié pour la première fois intégralement M. Manuel Rico y Sinobras, membre de l'Académie des sciences de Madrid. Le premier volume (in-folio, imprimé avec luxe; Madrid, 1862), en tête duquel est placé un Discours préliminaire, fort étendu, du savant éditeur, contient les *Quatre livres des fixes* ou des étoiles de la huitième sphère (*las estrellas de la octava esfera*), et de larges emprunts faits à l'Almageste de Ptolémée. Les gravures qui accompagnent le texte, représentent les figures de 48 constellations, calquées sur des dessins de vieux manuscrits. Le deuxième volume (Madrid, 1863) contient les traités des Armilles et des Astrolabes.

Au quatorzième siècle, il devenait de plus en plus dangereux de cultiver la science.

Pierre d'Apono ou *d'Albano*, dont les ouvrages, parmi lesquels on remarque un traité de l'Astrolabe (Venise, 1502,

in-4°), ne parurent pas de son vivant, fut, sur l'accusation de sorcellerie, brûlé en 1316, en effigie, après sa mort.

Cecco d'Ascoli, dont le véritable nom était *Francesco de' Stabili*, moins heureux que Pierre d'Apono, fut, sur la double accusation d'hérésie et de sortilége, brûlé, de son vivant, à Florence, en 1327. Il avait soixante-dix ans. Il nous reste de lui, entre autres, une sorte d'encyclopédie, sous forme d'un poëme, intitulé *Acerba*, dont le premier livre traite de l'astronomie et de la météorologie ; la première édition, excessivement rare, parut à Brescia, sans date (vers 1473), et fut, dans l'espace de cinquante ans, suivie de vingt autres, ce qui montre le prodigieux succès de cet ouvrage, condamné par l'inquisition. Le texte des éditions du seizième siècle a subi, par un excès de zèle de la part des imprimeurs, de nombreuses modifications et suppressions. « Malgré les croyances astrologiques, que Cecco partageait d'ailleurs, dit M. Libri, avec les hommes les plus célèbres de son temps, et qu'il expia d'une manière si cruelle, son poëme renferme un grand nombre de faits curieux qu'on ne s'attendrait pas à y rencontrer. Outre des notions, fort répandues à cette époque, sur les causes d'éclipse et sur la sphéricité de la Terre, on y trouve des connaissances fort avancées en météorologie [1].

Parmi les autres astronomes italiens de la même époque, nous citerons :

Marc de Bénévent, qui écrivit, vers 1350, sur le mouvement de la 8e sphère ou la sphère des étoiles fixes ; *Andasone del Nero*, maître de Boccace, qui composa un traité de l'Astrolabe, imprimé à Ferrare en 1575 ; *Jean de Dondis*, médecin de Padoue, qui mérita le surnom d'*Horologio*, par une horloge très-curieuse de son invention, destinée à marquer non-seulement l'heure, le jour et le mois, mais les fêtes de l'année, le cours du Soleil, de la Lune et des planètes.

1. G. Libri, *Histoire des Mathématiques en Italie*, t. II, p. 195.

En Allemagne, *Jean de Saxe*, moine de l'ordre de Saint-Augustin, écrivit sur les éclipses et les Tables Alphonsines; et *Henri de Hesse* traita de la théorie des planètes.

Dès le quinzième siècle, les savants commencent à réagir plus efficacement contre les doctrines traditionnelles; ils se groupent ou s'associent pour faire avancer plus rapidement la science. La pensée se modifie, elle s'enhardit et cherche à rompre plus résolûment les entraves autoritaires. On sent que le moyen âge va finir et que le siècle de la renaissance approche.

Le groupe des astronomes progressistes a pour chefs de file Purbach et Régiomontanus.

George de Purbach, né en 1423 à Purbach, sur la frontière bavaroise de l'Autriche, succèda à son maître, Jean de Gmünden, dans la chaire d'astronomie à l'unisité de Vienne. Il entreprit de faire une bonne édition de l'Almageste de Ptolémée. Mais comme il ignorait le grec, il se mit en rapport avec le cardinal Bessarion, légat à Vienne, et il alla suivre celui-ci en Italie, où, depuis la prise de Constantinople par les Turcs, s'étaient réfugiés beaucoup de savants grecs. Mais il n'eut pas le temps d'achever son ouvrage; une maladie l'enleva, en 1461, à l'âge de trente-huit ans. Heureusement, il laissa un disciple très-capable de continuer les travaux du maître.

La vie de Purbach et celle de son disciple Régiomontanus, ont été écrites par Gassendi.

Au nombre des écrits astronomiques de Purbach qui ont vu le jour, on remarque ses *Théoriques des Planètes* (Wittenb., 1580, in-8°), et ses *Tables des éclipses* pour le méridien de Vienne (1514, in-fol.). Purbach s'était particulièrement attaché à l'observation pour vérifier les hypothèses des anciens : c'était le seul moyen de faire avancer la science. A cet effet, il imagina des instruments nouveaux, perfectionna les anciens, mesura plus exactement

les lieux des astres, et, pour aider les astronomes dans leurs calculs, il dressa des tables de divers genres. Rejetant le calcul sexagésimal des divisions du rayon (de 60 en 60), employé par les anciens, il y substitua le rayon divisé en 600 000 parties, et, au lieu des cordes des arcs doubles, exprimées en parties sexagésimales du rayon, il calcula les sinus (demi-cordes) en six-cent-millièmes de ce rayon; mais, pour mieux remplir le but du calculateur, il divisa le rayon en 1 000 000 parties, et il calcula, d'après ce système, de nouvelles Tables pour tous les degrés et minutes du quart de cercle.

Le disciple de Purbach, Régiomontanus, mérite une mention sépciale.

Régiomontanus.

Régiomontanus, dont le véritable nom était *Jean Müller*, naquit en 1436, dans le petit village de Kœsberg ou Kœnigsberg, près de Cobourg, d'où il prit, selon la mode des savants de son époque, le nom latinisé de *Regiomontanus*.

Dès l'âge de quatorze ans, il se passionna pour l'astronomie, qu'il étudia d'abord à Leipzig, et devint plus tard élève de Purbach, qu'il aida dans ses travaux. Après la mort de son maître, il demeura près du cardinal Bessarion, protecteur de Purbach, apprit le grec en Italie, et traduisit, sur le texte original, l'Almageste de Ptolémée et son commentateur Théon. Précurseur de la renaissance des lettres, il rejeta les versions, la plupart infidèles, et voulut étudier les mathématiciens et astronomes grecs dans leur langue même. C'est ainsi qu'il refit les anciennes traductions latines d'Archimède, d'Apollonius, de Serenus, de Théodose, etc. Beaucoup de ces traductions sont restées inédites. Il continua l'*Épitomé* de l'Almageste, que Purbach avait laissé inachevé, et que celui-ci lui avait

recommandé à ses derniers moments. Cet ouvrage parut à Venise en 1496. Nous avons déjà cité sa réfutation de la singulière théorie mystico-astronomique de la trépidation des astres, mise en avant dans les Tables Alphonsines.

Comète de 1472

Le milieu de janvier 1472 fut signalé par l'apparition d'une comète qui, pour l'étendue de sa queue (elle avait plus de 30 degrés de longueur), rappelle la comète de 1858. Douée d'un mouvement d'abord à peine sensible, sa marche alla bientôt en s'accélérant, de telle sorte que dans son passage le plus rapproché du Soleil, dans son passage au *périhélie*, observé par Régiomontanus, elle parcourait plus de trente degrés en vingt-quatre heures. Le moment du passage d'une comète au périhélie est toujours important à noter, parce qu'il peut servir à fixer la longitude de l'astre chevelu à une période déterminée. Régiomontanus n'y manqua pas ; il observa aussi la parallaxe de l'astre, qu'il trouva de trois degrés. Si son observation est exacte, la comète de 1472 est une de celles qui peuvent approcher le plus près de la Terre : elle aurait passé près de nous à une distance de vingt rayons terrestres. Son mouvement était presque perpendiculaire à l'écliptique. Elle parut d'abord vers l'Épi de la Vierge, entra ensuite dans la constellation du Bouvier, passa près d'Arcturus, traversa la Petite Ourse fort près de l'étoile polaire, d'où elle continua sa route à travers les constellations de Céphée, de Cassiopé et d'Andromède, pour disparaître dans le Bélier, effacée par les rayons du Soleil. Régiomontanus consigna les résultats de ses observations dans un opuscule intitulé : *De cometæ magnitudine longitudineque ac de loco ejus vero Problemata VI;* Nuremberg, 1531, in-4°.

Après son retour de l'Italie, Régiomontanus vivait, en 1471, retiré à Nuremberg, où il se fit un disciple et un ami de Bernard Walther. En 1475, il fut invité par le pape Sixte IV à se rendre à Rome, pour y travailler à la réforme du calendrier. Nommé *in petto* à l'évêché de Ratisbonne, il partit en laissant Walther continuer ses observations à Nuremberg. Mais à peine avait-il commencé ses travaux qu'il mourut, en juillet 1476, à l'âge de quarante ans. On soupçonna les fils de Georges de Trébizonde de l'avoir empoisonné pour venger l'affront que Régiomontanus aurait fait à la mémoire de leur père en critiquant trop vivement sa traduction de Ptolémée et de Théon. Mais il est plus probable qu'il périt victime d'une épidémie qui sévissait alors à Rome. Le pape lui fit élever une sépulture au Panthéon.

Le *Kalendarium* de Régiomontanus (imprimé à Augsbourg en 1499) est le premier almanach qui ait été fait et publié en Europe. Les années 1475, 1494 et 1513 y sont séparées par un cycle de dix-neuf ans (période de Méton). L'empereur Rodolphe, auquel ces Ephémérides étaient dédiées, avait donné à leur auteur douze cents écus d'or. On y trouve la description du carré horaire (*quadratum horarium*), propre à indiquer, en quelque lieu que ce soit, les heures du jour.

Tentatives de réforme du calendrier Julien

Bien avant le quinzième siècle, l'autorité ecclésiastique s'était aperçue que le calendrier Julien, alors universellement adopté, ne s'accordait plus exactement avec le retour de l'équinoxe du printemps et la fixation de la fête de Pâques. Régiomontanus était mort au milieu de la réforme projetée. Mais nous ne voyons pas que son élève et ami Bernard *Walther* (né à Nuremberg en 1436, mort

en 1504) ait sérieusement continué l'œuvre commencée. L'un des plus riches citoyens de Nuremberg, Walther n'épargna cependant aucune dépense pour se procurer des instruments astronomiques. Pour mesurer le temps, il se servait d'une horloge à roue, qui s'accordait toujours, dit-on, parfaitement avec le calcul. Il signala nettement l'*effet de la réfraction à l'horizon*. En observant Vénus avec ses armilles, il vit que le lieu donné par l'écliptique de l'instrument différait beaucoup trop avec celui que donnait le cercle de latitude, pour que cette différence pût être mise sur le compte d'une erreur d'observation ou de calcul. C'est ce qui l'amena à la considérer comme le résultat de la réfraction, faisant paraître au-dessus de l'horizon l'astre qui était en réalité au-dessous. Mais il ne soupçonnait pas encore que l'effet de la réfraction s'étendît au delà du voisinage de l'horizon.

Après la mort de Régiomontanus, Walther acheta des héritiers tous les papiers et instruments qui avaient appartenu à son ami. Mais, au lieu d'en faire part au public, il les garda soigneusement pour lui-même, comme un avare qui ne veut partager son trésor avec personne. Ses héritiers, n'ayant pas les mêmes goûts, auraient, après la mort de Walther, dispersé ces manuscrits de Régiomontanus, si le sénat de Nuremberg, alors ville libre, n'en eût pas fait l'acquisition.

Deux cardinaux, Pierre d'Ailly et Nicolas de Cusa, s'intéressaient alors particulièrement à la réforme du calendrier.

Pierre d'Ailly, plus connu sous la dénomination latine de *Petrus de Alliaco*, mort en 1425, surnommé l'*aigle des docteurs de France*, assista au concile de Constance, où fut brûlé Jean Huss. Pénétré de la nécessité d'une réforme du calendrier, il proposa au pape Jean XXIII divers moyens pour faire concorder l'année solaire avec l'année civile et ecclésiastique, consignés dans un opuscule (publié sans date) *De correctione calendarii*. Dans sa *Con-*

cordantia astronomiæ cum theologia (Vienne 1490), il est moins question d'astronomie que d'astrologie.

Nicolas de Cusa, Allemand de nation, mort en 1464, essaya le premier de faire revivre, dans son siècle, le système pythagoricien, d'après lequel la Terre tourne autour du Soleil. Mais son essai ne passa que pour un paradoxe. Il critiqua les Tables Alphonsines, et crut avoir trouvé la quadrature du cercle, prétention qui fut vivement réfutée par Régiomontanus [1].

Parmi les savants qui, à la fin du quinzième siècle, s'occupaient plus ou moins directement de la réforme du calendrier, nous citerons encore *Werner* (né à Nuremberg en 1468, mort en 1528), qui continua en partie les observations de Walther; Jean *Schoner* (né en 1477 à Carlstadt près de Würzbourg, mort à Nuremberg en 1547), qui publia une partie des manuscrits de Régiomontanus; et *Stoefler*, plus connu sous le nom de *Stoeflerinus*. Ce dernier enseignait, en 1482, l'astronomie et les mathématiques à Tubingue, où il eut pour élèves Mélanchthon et Sébastien Münster. Il publia des éphémérides, où il prédisait, pour l'année 1524, un déluge universel. Cette prédiction avait mis toute l'Europe en émoi.

En Italie, Jean *Bianchini*, de Bologne, composa des Tables astronomiques; Jacques *Angolo*, de Florence, traduisit la Géographie de Ptolémée sur le texte grec; Maria *Novara*, professeur d'astronomie à Bologne, compta Copernic parmi ses disciples.

En Espagne, *Ferdinand de Cordoue* commenta l'Almageste de Ptolémée, et *Bernard de Granolachi* publia, en espagnol, des éphémérides allant de 1488 à 1550.

La découverte du Nouveau Monde, à la fin du quin

1. Kæstner, *Geschichte der Mathematik*, t. II, p. 319 (Gœtting., 1797, in-8°).

zième siècle, mit tout à coup à néant la fameuse question des Antipodes, brisa les liens fantastiques avec lesquels on s'était obstiné à voir notre globe fixé dans l'espace; enfin elle fit définitivement rentrer la Terre dans le cortége des Planètes, tournant autour du Soleil, pris pour le véritable centre de notre monde.

Christophe Colomb fut le précurseur de Copernic.

LIVRE CINQUIÈME.

ASTRONOMIE MODERNE.

CHAPITRE I.

COPERNIC. SA VIE ET SES TRAVAUX.

Les idées sont comme les graines : elles peuvent, pendant des siècles, rester infécondes, jusqu'à ce qu'enfin l'un des innombrables passants qui les foulent aux pieds, les ramasse et les fasse germer merveilleusement. Tel fut le sort de l'idée pythagoricienne concernant le système du monde. Jetée, il y avait plus de deux mille ans, au vent des générations indifférentes, elle fut recueillie et réchauffée par un enfant de ces régions hyperboréennes, qui, suivant l'expression d'Hérodote, contemporain de Pythagore, étaient couvertes de neiges et de ténèbres perpétuelles.

Nicolas *Copernic* naquit le 12 février 1473, à Thorn (Prusse polonaise). On ne s'accorde pas sur son origine :

les uns le font descendre d'une famille noble ; les autres prétendent que son père était serf, comme si la descendance pouvait donner le génie. C'est seulement de nos jours qu'on est parvenu, sur des documents plus ou moins authentiques, à savoir que son père était fils d'un bourgeois considéré de Cracovie, et que sa mère, appelée Barbel Wasselrode, était sœur de l'évêque de Warmie. C'est ainsi que Christophe Colomb se trouva, après sa mort, avoir tout à coup des parents dans presque tous les pays de l'Europe, tandis que de son vivant il n'eut qu'une ingrate patrie.

Grâce aux soins de son oncle, l'évêque de Warmie, Copernic reçut une éducation distinguée. Après avoir fait ses études classiques au collége de Thorn, il vint, à dix-huit ans, suivre les cours de philosophie et de médecine à l'université de Cracovie. A vingt-trois ans il se rendit en Italie, pour achever ses études à Padoue et à Bologne, où Maria Novara enseignait l'astronomie. En 1499, on le trouve professant à Rome les mathématiques devant un nombreux auditoire. De retour à Cracovie, il se fit, en 1502, prêtre, et huit ans après il devint chanoine à Frauenberg, petite ville située sur les bords de la Vistule. C'est là qu'il passa le reste de ses jours entre les devoirs de sa charge, les œuvres de bienfaisance et la culture de l'astronomie.

Copernic hésita longtemps à publier le travail qui a immortalisé son nom. Vaincu enfin par les sollicitations réitérées de deux amis, il se décida à livrer à l'impression son *De revolutionibus orbium cœlestium* (Nuremberg, 1543, in-fol.)[1]. Il nous apprend lui-même ce détail dans la préface

1. M. Flammarion (*Vie de Copernic*, p. 24) fait remarquer ici. avec beaucoup d'à-propos, que « la même année vit paraître aussi l'ouvrage de Vésale, *De corporis humani fabrica,* qui créait l'anatomie humaine. » Nous ajouterons seulement que l'ouvrage de Vésale, dont nous avons sous les yeux la première édition, splendidement imprimée par Opo-

de cet impérissable monument, qu'il mit, par sa dédicace, sous la sauvegarde du pape Paul III. « Il m'est permis, y dit-il, de croire qu'aussitôt que l'on saura ce que j'ai écrit dans ce livre sur les mouvements de la Terre, on criera haro sur moi (*statim me explodendum cum tali opinione clamitent*). Du reste, je ne suis pas tellement amoureux de mes idées que je ne veuille point tenir compte de ce que d'autres en penseront ; puis, bien que les pensées d'un philosophe s'écartent des sentiments du vulgaire, parce qu'il se propose la recherche de la vérité, autant que Dieu l'a permis à la nature humaine, je ne suis pas cependant d'avis de rejeter entièrement les opinions qui semblent s'en éloigner.... Tous ces motifs, ainsi que la crainte de devenir, à raison de la nouveauté et de l'absurdité (apparente) de mes idées, un objet de risée (*contemptus qui mihi propter novitatem et absurditatem opinionis metuendus*), m'avaient fait presque renoncer à l'entreprise. Mais des amis, parmi lesquels se trouvaient le cardinal Schomberg et Tidemann Gisius, évêque de Kulm, parvinrent à vaincre ma répugnance. Ce dernier surtout mit la plus grande insistance à me faire publier un livre, que j'avais gardé sur le chantier, non pas neuf ans, mais près de trente-six. »

Copernic se décida donc, à l'âge de soixante-six ans, à faire imprimer son livre, et chargea son disciple Rhéticus d'en revoir les épreuves. Il eut enfin, peu de jours avant sa mort, arrivée le 23 mai 1543, la satisfaction de tenir dans ses mains défaillantes le premier exemplaire de son ouvrage, sorti des presses de Jean Petreius, de Nuremberg. Cette première édition, devenue très-rare, fut suivie d'une seconde en 1566, et d'une troisième en 1617[1].

rin, de Bâle, porte à la fin la date de 1555, tandis que la préface donne l'année 1542.

1. L'édition la plus récente, imprimée avec luxe, a paru à Varsovie (en latin et en polonais) en 1854, ornée d'un beau portrait de Copernic et précédée d'une vie du grand astronome. C'est cette édition que nous avons suivie dans notre analyse.

Soixante-treize ans après la mort de son auteur, le *De revolutionibus orbium cœlestium* fut condamné (le 5 mars 1616) par la congrégation de l'Index, comme « renfermant des idées données pour très-vraies sur la situation et le mouvement de la Terre, idées entièrement contraires à la Sainte Écriture[1]. » Ce fut cet arrêt qu'invoqua le clergé catholique de Varsovie pour refuser, le 5 mai 1829, son concours à l'inauguration de la statue de Copernic, œuvre de Thorwaldsen.

La perspective céleste.

Copernic était venu au monde à cette époque de renaissance où l'esprit humain semblait sortir comme d'une longue léthargie. Bien des questions importantes avaient été déjà mises en avant par de hardis penseurs ; mais leur voix était aussitôt étouffée par l'autorité régnante, et leur parole, le plus souvent incomprise, ne trouvait qu'un bien faible écho auprès de leurs contemporains indifférents ou fanatiques. C'est une entreprise presque surhumaine de faire entrer les esprits dans un nouvel ordre d'idées. Copernic savait très-bien lui-même qu'il n'était pas le premier à faire tourner la Terre autour du Soleil. Mais il eut le mérite d'avoir affronté tous les préjugés pour tirer en quelque sorte du sac aux oublis une idée condamnée par le témoignage même du sens commun.

1. Le livre de Copernic fut condamné, *donec corrigatur* : ce sont les termes de la sentence. Kepler remarque ici qu'il eût mieux valu dire : *donec explicetur*. M. Bertrand (*Les Fondateurs de l'Astronomie*, p. 57) fait ici très-judicieusement observer que si, en comprimant la vérité, on peut retarder quelque temps son triomphe, c'est pour en accroître l'éclat. « Ce n'est pas, dit Pascal, le décret de Rome sur le mouvement de la Terre qui prouvera qu'elle demeure en repos, et, si on avait des observations constantes qui prouvassent que c'est elle qui tourne, tous les hommes ensemble ne l'empêcheraient pas de tourner et ne s'empêcheraient pas de tourner avec elle. »

Pour bien saisir la valeur de la thèse reprise par Copernic, il faut d'abord se faire une idée bien nette de ce qu'on pourrait appeler la *perspective céleste*, impression sensorielle, lentement et laborieusement acquise, revue, corrigée et agrandie par l'esprit qui se perfectionne dans sa marche à travers les siècles.

Au milieu de la scène de l'infini, pénétré de lumière et d'invisibles agents, tout se meut ; l'observateur et la Terre où il se trouve implanté se meuvent en même temps que les astres qu'il aperçoit au ciel, mouvement sans trêve, mouvement *perpétuel*, dans la véritable acception du mot.

Les corps célestes paraissent à notre vue comme s'ils étaient tous projetés sur un même plan ; mais par l'observation unie à la réflexion, par le travail de l'intelligence aidée des sens qu'elle doit rectifier, on est arrivé à reconnaître que ces corps se trouvent à des distances fort inégales, et occupent des plans très-différents. Les plus voisins de nous, la Lune, le Soleil, comme les planètes et leurs satellites, ont des mouvements très-bien appréciables ; les plus éloignés, dont les déplacements sont mesurés avec notre trop courte mesure du temps, paraissent à peine se mouvoir : telles sont les étoiles fixes.

Les étoiles servent de point de repère aux astres mobiles : c'est sur la voûte étoilée, dont les points scintillants paraissent toujours conserver entre eux le même rapport, que se projettent, comme sur le fond d'un tableau, les mouvements des pièces constitutives de notre horloge du monde. Cela compris, transportons-nous, par la pensée, en dehors des orbites de toutes les planètes, pour nous arrêter dans un point immobile de l'équateur solaire prolongé, et contempler de là le spectacle qui s'offrira à nous. Supposons toutes les planètes réunies (en conjonction) sur la ligne qui va de l'œil de l'observateur au centre du Soleil : elles se dessineront comme une tache noire sur le disque brillant du Soleil. De cette tache arrondie devra se dégager successivement d'abord un premier globule opa-

que (Mercure), puis un second (Vénus), puis un troisième (la Terre), puis un quatrième (Mars), et ainsi de suite jusqu'au dernier. Ces globules, qui en se désagrégeant font disparaître la grosse tache, vont tous de droite à gauche ou de l'occident en orient (mouvement direct ou en longitude), en même temps qu'ils tournent tous dans le même sens, autour de leurs propres axes; tous aussi sont légèrement aplatis aux extrémités de leurs axes de rotation et renflés à leur équateur. A part ces traits de similitude, ils diffèrent entre eux par leur masse, par leur volume, par leur vitesse, par leur distance à l'astre central, etc. Ils se meuvent aussi dans des plans diversement inclinés (inclinaisons renfermées dans de certaines limites) sur l'équateur du Soleil, et cette inégalité d'inclinaison de leurs orbites n'a aucun rapport avec leurs distances. Ainsi, l'obliquité du plan de mouvement de la Terre, qui est plus éloignée du Soleil que Mercure et plus rapprochée que Saturne, est, en chiffres ronds, de 23°, celle de Mercure est de 30° et celle de Saturne de 25°. Si l'on compare les écartements alternatifs de ces disques opaques à des oscillations de pendules de différentes amplitudes et qui auraient pour point de suspension le centre du Soleil, on aura l'image exacte de la réalité. Comme ce centre est en même temps celui de l'attraction commune de toutes les planètes dont chacune a, en outre, son centre d'attraction particulier, celles-ci, véritables globes de pendules célestes, décriront des courbes fermées en passant tour à tour devant et derrière le Soleil, ce qui les fait paraître, relativement à l'observateur, un peu plus grosses dans le premier que dans le dernier cas. Mais quel genre de courbes décrivent-elles ainsi? Pour le savoir, il faut que l'observateur change de place ou de perspective. Si du point de l'équateur prolongé où nous l'avions placé par la pensée, il se transporte, par un mouvement de déclinaison, dans le prolongement de l'un des pôles du Soleil, il verra que les planètes tracent des courbes pres-

que circulaires ou des orbites légèrement comprimées latéralement (ellipses), et que le Soleil occupe, non pas exactement le centre de ces orbites enchâssées, mais l'un des points (foyers) du grand diamètre, qui mesurent la quantité (excentricité) dont les ellipses diffèrent de cercles parfaits. Mais le spectacle qui le frappera le plus, c'est que dans cette pondération universelle, où les moindres molécules de matière jouent un rôle marqué, tout paraît osciller autour d'un état moyen, et que l'effet de ces oscillations ne devient sensible qu'après de longs espaces de temps[1].

Telle est la synthèse de la vérité. Pour y atteindre, il fallut les efforts combinés de la pensée humaine, transmise à travers une longue série de générations; il fallut détruire bien des illusions qui toutes tenaient à ce que, par une sorte d'égoïsme cosmique, notre Terre était prise pour le centre du monde. Dans cette œuvre de destruction et de reconstitution à la fois, quelle part de gloire revient à Copernic? Voilà ce qu'il importe de mettre en lumière

Le vrai système du monde.

En reprenant l'idée de la *rotation de la Terre autour de son axe* en vingt-quatre heures, Copernic fit d'abord mieux ressortir que ne l'avaient fait ses devanciers la supériorité de cette idée sur toutes les hypothèses qu'on avait

1. Ainsi, pour ne citer que la planète que nous connaissons le mieux (la Terre), les équinoxes ou nœuds ne se déplacent en longitude (de l'orient à l'occident) que de 50",2 par an; le périhélie ne se déplace inversement (de l'occident en orient) que de 11",7 par an; l'inclinaison de l'écliptique change, en se rapprochant actuellement de l'écliptique (mouvement en latitude) seulement de 45" par siècle; enfin l'excentricité change elle-même d'une quantité à peine appréciable dans l'espace d'un siècle.

imaginées pour bien expliquer le mouvement diurne général de la sphère céleste. « Tout déplacement qui se manifeste à notre vue provient, dit-il, soit de l'objet perçu, soit du sujet qui perçoit, soit d'un mouvement inégal de l'un et de l'autre ; car un mouvement égal et simultané de l'objet et du sujet ne donne aucune idée du déplacement. Or la Terre est pour nous l'unique lieu d'où le mouvement du ciel puisse se présenter à notre vue. Tout mouvement provenant de la Terre se réfléchira donc au ciel qui paraîtra se mouvoir en sens opposé ; telle est la révolution diurne (*revolutio quotidiana*) : elle paraît entraîner l'univers entier, excepté la Terre. Si maintenant on m'accorde que le ciel n'a rien de ce mouvement, mais que la Terre tourne autour d'elle-même de l'occident en orient (en sens inverse du mouvement apparent du ciel), on se convaincra facilement qu'il doit réellement en être ainsi[1]. »

Cette explication si simple du *mouvement diurne*, premier mobile ou mouvement de la première sphère des anciens, aurait dû, ce semble, avoir pour conséquence une réforme immédiate du langage. Mais il n'en fut rien. On continue encore à dire aujourd'hui, comme jadis, que le Soleil, la Lune, les astres, *se lèvent* et *se couchent*, tout comme si le ciel tournait et que la Terre demeurât immobile. Cependant, depuis Copernic, il n'en reste pas moins positivement acquis à la science ce premier fait capital, que l'équateur et les pôles du monde (des anciens) ne sont que les extrémités de l'axe de rotation de la Terre, prolongés jusqu'à la voûte étoilée.

Le *mouvement annuel*, exécuté en apparence par le Soleil, Copernic fut conduit à le rapporter également au mouvement de la Terre, par des considérations dont la plupart n'étaient pas venues à l'esprit de ses devanciers. Il savait que Martianus Capella, qu'il cite, faisait tourner Mercure et Vénus autour du Soleil. Pourquoi, se deman-

1. *De revolutionibus orbium cœlestium*, I, 5.

dait-il, s'arrêter à demi-chemin? Pourquoi ne pas faire tourner les autres planètes autour du même centre? En suivant cette marche, on expliquera bien mieux certains phénomènes que d'après le système ancien. Ce fut ainsi que Copernic traça les orbites des planètes, assigna le premier à la Lune le rang d'un satellite de la Terre et fut mis sur la voie du vrai système du monde en en faisant occuper le centre par le Soleil. Mais pour cela il fallait d'abord s'attaquer directement au système dominant, et le renverser. « Ptolémée prétend, dit Copernic, qu'il faut que la Terre tienne le milieu tout à la fois entre les planètes qui s'en écartent le plus (depuis 0 jusqu'à 360°) et celles, comme Mercure et Vénus, dont les digressions sont restreintes. Mais cet argument tombe de lui-même, quand on songe que la Lune n'est nullement bornée dans sa digression. Quelles raisons pourrait-on donner des digressions bornées de Vénus et de Mercure?... Il faut donc que la Terre ne soit pas le centre de leurs orbites. Comment prouvera-t-on que Saturne est plus éloigné que Jupiter? Je me range ici de l'opinion de Martianus Capella et des auteurs latins qui pensent que Vénus et Mercure tournent autour du Soleil; et voilà pourquoi leurs digressions sont bornées, déterminées par les rayons de leurs orbites. Ces planètes n'entourent pas la Terre. Ainsi, l'orbite de Mercure sera renfermée dans l'orbite de Vénus. Partant de là, ne pourrons-nous pas rapporter au même centre Saturne, Jupiter, Mars? Il suffira, pour cela, de donner des rayons convenables à leurs orbites qui devront embrasser l'orbite de la Terre. Quand ces planètes se trouvent en opposition (moment où elles paraissent les plus grosses), elles sont évidemment plus voisines de la Terre qu'en toute autre position, particulièrement dans leurs conjonctions, ce qui indique assez qu'elles ont, comme Vénus et Mercure, pour centre le Soleil. Entre l'orbite de Vénus et l'orbite de Mars, il reste un espace libre : c'est là que nous

placerons l'orbite de la Terre, et autour de la Terre l'orbite de la Lune, qui ne peut se séparer de la Terre. Nous ne rougirons donc pas de déclarer (*non pudet nos fateri*) que l'orbite de la Lune et le centre de la Terre font leur révolution annuelle autour du Soleil, centre du monde, dans une grande orbite, en compagnie des autres planètes (*hoc totum quod Luna præcingit ac centrum Terræ per orbem illum magnum inter cæteras errantes stellas annua revolutione circa Solem transire, et circa ipsum esse centrum mundi*). Le Soleil étant immobile, toutes les apparences seront expliquées par le mouvement de la Terre. Les orbites des planètes, quelque grandes qu'elles soient, ne sont rien quand on les compare à l'intervalle qui les sépare de la sphère des fixes; ce qu'on accordera d'autant plus facilement que cet intervalle a dû être rempli d'une infinité d'orbites par ceux qui font de la Terre le centre du monde. Mais il vaut mieux suivre le génie de la nature, qui, ne produisant rien de superflu ou d'inutile, sait varier les effets d'une même cause. Tout cela paraîtra difficile et presque incroyable; mais, avec l'aide de Dieu, nous le rendrons plus clair que le Soleil, pour ceux du moins qui n'ignorent pas les mathématiques. Partant, conséquemment, de ce principe, dont personne ne contestera l'opportunité, que plus une orbite est grande, plus la durée de sa révolution est longue, nous distribuerons ainsi l'ordre des sphères, en commençant par la plus éloignée. »

Ici se trouve dans l'ouvrage de Copernic la figure ci-contre (fig. 8).

« La première (I) et la plus élevée de toutes ces sphères, continue l'auteur, est celle des étoiles fixes; en embrassant toutes les autres, elle est immobile, et c'est à elle qu'on rapporte les mouvements et les positions des astres de notre monde. Les astronomes lui supposent un mouvement; mais nous montrerons la cause de cette illusion dans le mouvement de la Terre. Au-dessous de la sphère des étoiles est l'orbite de Saturne (II), dont la révolution

est de trente ans ; puis viennent successivement les orbites de Jupiter (III), qui fait en douze ans le tour du ciel ; de Mars (IV), qui fait sa révolution en deux ans ; de la Terre (V) avec la Lune, qui fait la sienne en un an ; de Vénus (VI), qui fait son tour du ciel en neuf mois ; enfin, de Mercure (VII), qui fait le sien en quatre-vingt-huit jours. Au milieu de tous ces orbes réside le Soleil. Quelle

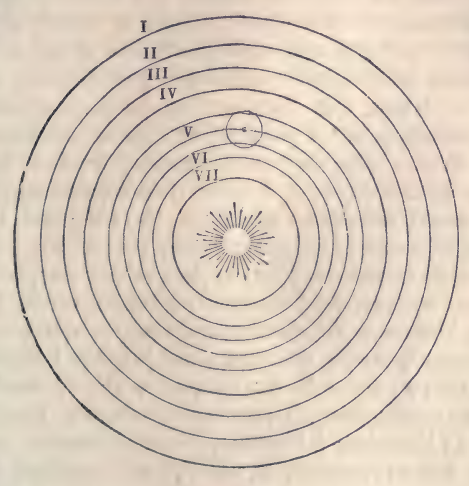


Fig. 8.

meilleure demeure aurait-on pu assigner à l'astre lumineux pour éclairer ce temple magnifique[1] ? »

Nous tenions à reproduire en entier cette page de Copernic, traçant le vrai système du monde. C'est avec ce tableau d'une perspective grandiose qu'on parvint enfin à comprendre l'un des phénomènes qui avaient le plus embarrassé les astronomes anciens. C'est par le mouvement

1. *De revolutionibus orbium cœlestium*, I, 10.

annuel ou de translation de la Terre, combiné avec les mouvements particuliers des planètes, que Copernic expliqua le premier les stations et les rétrogradations. « Il y a, dit-il, deux causes qui font paraître inégal le mouvement des planètes : d'abord le mouvement de la Terre autour du Soleil, puis le mouvement particulier de chaque planète[1]. »

Rappelons-nous qu'une planète met d'autant moins de temps à parcourir son orbite qu'elle se trouve plus près du Soleil ; la Terre met donc pour cela moins de temps que Mars, Mars moins de temps que Jupiter, Jupiter moins de temps que Saturne. En voici maintenant les conséquences pour la perspective d'un observateur placé sur la Terre. Prenons, par exemple, Jupiter dans sa marche de l'occident à l'orient (mouvement appelé *direct*). Avant d'arriver en opposition (à 180°), son mouvement se ralentira et finira par cesser tout à fait : c'est le moment de la *station;* puis, après quelque temps d'arrêt, la planète se remettra à marcher en sens inverse, c'est-à-dire de l'orient à l'occident (mouvement *rétrograde*); la planète continuera à marcher ainsi jusqu'à l'opposition; encore un peu au delà de ce point, elle deviendra de nouveau stationnaire, pour reprendre son mouvement direct (de l'occident à l'orient). En représentant ce phénomène graphiquement, on obtient des espèces d'épicycloïdes formant vers chaque opposition une sorte de nœud ; les deux côtés de ce nœud marquent deux stations (l'une avant et l'autre après l'opposition). C'est dans l'intervalle de ces stations que la planète, projetée sur le plan des étoiles fixes, paraît rétrograder, quoique en réalité elle continue toujours à se mouvoir de l'occident à l'orient; car, encore une fois, le phénomène des stations et des rétrogradations n'est qu'une illusion produite par le déplacement continuel de l'observateur fixé sur une planète

1. *De revolutionibus orbium cælestium*, III, 5.

(la Terre) qui met environ douze fois moins de temps que Jupiter, trente fois moins de temps que Saturne, etc., à tourner autour du Soleil. Supposons que plusieurs personnes décrivent, en marchant autour d'un arbre, des cercles concentriques séparés les uns des autres par d'assez longs intervalles ; celle dont le cercle a le plus court rayon et qui mettra le moins de temps à faire son circuit verra les autres produire exactement le phénomène des stations et des rétrogradations des planètes *externes*, c'est-à-dire des planètes dont les orbites embrassent l'orbite terrestre.

En substituant la réalité à l'illusion, Copernic fit évanouir des théories fantastiques et rendit un immense service à la science. Mais ce n'est pas de son temps qu'on reconnut l'étendue de ce service. Peu d'astronomes — il faut des siècles à l'œil de l'esprit pour s'accoutumer à l'éclat de la vérité — peu d'astronomes auraient alors souscrit à ces paroles aussi enthousiastes que vraies de Bailly : « En restituant à la Terre le mouvement qu'elle a reçue de l'auteur de la nature, l'homme se trouve transporté avec elle ; il peut juger de l'étendue du monde par son voyage annuel. Ce ne sont plus de petits intervalles comme ceux qu'il parcourt sur un globe de neuf mille lieues de tour ; il suit une circonférence dont plus de soixante millions de lieues sont le diamètre. Voilà la base d'une grande parallaxe ; et dans cette longue route on a des stations à choisir pour établir des mesures. A chaque pas de la Terre dans son orbite, ce déplacement change l'apparence du lieu des planètes dans le ciel. Ces déplacements accumulés forment des changements sensibles. Il s'agit uniquement de bien connaître le mouvement propre de la planète et de bien établir à chaque instant le lieu où elle est vue du Soleil ; et, en comparant ce lieu avec le lieu observé de la Terre, on a la différence, l'altération qui résulte du déplacement de notre globe. C'est une véritable parallaxe ... Cette parallaxe est d'autant plus petite que la

planète est plus éloignée. Copernic en conclut le rapport de la distance de chaque planète au rayon de l'orbe de la Terre, c'est-à-dire à l'intervalle qui sépare la Terre du Soleil. C'est le module des distances de toutes les planètes. Il eut donc les rapports de ces distances, et une échelle de grandeurs, depuis la coudée, la toise, la lieue, jusqu'au rayon du globe ; depuis ce rayon du globe jusqu'au rayon de son orbe annuel ; et enfin depuis le rayon de cet orbe jusqu'aux distances des autres planètes qui composent notre système solaire. L'astronomie dirigée par Copernic embrassait l'univers par la succession de ses mesures. Les parties n'étaient plus détachées, comme dans l'hypothèse de Ptolémée, et leur union était un caractère de vérité[1]. »

Solidarité de toutes les pièces constitutives du monde, telle fut, en effet, la pensée maîtresse de Copernic. Elle se trouve assez clairement exprimée dans ces paroles du Ier livre, chap. IX, du *De Revolutionibus orbium cœlestium :* « Quant à moi, je pense, dit le grand astronome, que la pesanteur n'est autre chose qu'une certaine *appétence* naturelle dont le divin architecte de l'univers a doué les parties de la matière, afin qu'elles se réunissent sous la forme d'un globe. Cette propriété appartient sans doute aussi au Soleil, à la Lune et aux planètes ; c'est à elle que ces astres doivent leur forme sphérique, ainsi que leurs mouvements divers. » — Les lois de Kepler et de Newton ne devaient être que le développement géométrique de cette grande idée.

Mais la vérité sort rarement pure d'une seule et même tête. Copernic continua de faire mouvoir les planètes sur des circonférences de cercles parfaits ; il n'osa encore renoncer ni aux épicycles, ni aux déférents excentriques pour expliquer les inégalités des mouvements du Soleil (de la Terre) et des planètes, ainsi que certaines varia-

1. Bailly, *Histoire de l'Astronomie moderne*, t. I, p. 359.

tions (imaginaires) dans la précession des équinoxes et dans l'obliquité de l'écliptique.

La vérité éblouit comme la lumière. Copernic ôta à son système son cachet de simplicité en commettant l'erreur de croire que la Terre, en tournant autour du Soleil, montre à cet astre toujours la même face, comme le fait la Lune à l'égard de la Terre. Il comprenait la translation de la Terre autour du Soleil, comme si la planète avait été attachée à un rayon solide, en quelque sorte à une tige de fer qui eût tourné sur le Soleil comme sur son centre, parce que, d'après ses fausses idées de mécanique, il ne concevait point que le mouvement de circulation d'une sphère autour d'un centre éloigné et son mouvement de rotation sur elle-même, que ces deux mouvements, en un mot, pussent être tout à fait indépendants l'un de l'autre[1]. Si la Lune, dans sa rotation autour d'elle-même, qui s'accomplit en même temps que sa rotation autour de la Terre, montre toujours à celle-ci le même hémisphère, l'hémisphère invisible pour nous n'en est point pour cela constamment plongé dans des ténèbres ; car toute la surface de la Lune est successivement éclairée

1. Copernic s'était, comme Ptolémée, persuadé que si la Terre tournait en vingt-quatre heures autour de son axe, les points de sa surface seraient animés d'une vitesse immense, et de leur rotation naîtrait une force de projection capable d'arracher de leurs fondements les édifices les plus solides. Cette difficulté, que rencontra plus tard Galilée sans réussir à la dénouer exactement, Copernic crut la faire disparaître par une distinction subtile : « La rotation de la Terre étant, dit-il, un mouvement naturel, les effets en sont tout autres que ceux d'un mouvement violent, et l'on ne doit pas assimiler la Terre, qui tourne en vertu de sa propre nature, à une roue que l'on force à tourner. » Il fallut encore plus d'un siècle pour découvrir que la force de projection, appelée depuis *force centrifuge*, loin de pouvoir arracher les édifices de leurs fondements, diminue seulement le poids des corps situés à l'équateur, où elle est la plus forte, de 3 grammes environ par kilogramme, et pour reconnaître que les corps célestes, dans leurs évolutions, sont soumis aux mêmes lois mécaniques que les corps terrestres. (M. Bertrand, *Les Fondateurs de l'Astronomie*, p. 19.)

par le Soleil, tandis que si la Terre ne présentait au Soleil qu'un hémisphère, il n'y aurait jamais de jour, ni changement de saison sur l'hémisphère opposé; il n'y aurait que des glaces et des ténèbres éternelles. Or il n'en est point ainsi, et cela étonnait beaucoup Copernic. Aussi, pour expliquer l'alternance du jour et de la nuit, ainsi que les changements de saisons, eut-il recours à l'hypothèse d'un troisième mouvement, un mouvement en déclinaison imaginaire. « Il faut, dit-il, supposer que l'équateur et l'axe de la Terre ont sur le plan de l'écliptique une inclinaison convertible (*convertibilem inclinationem*); car s'ils étaient fixes et qu'ils ne suivissent que le mouvement autour du centre (Soleil), on n'expliquerait ni l'inégalité des jours et des nuits, ni les saisons, et le Soleil paraîtrait toujours avoir la même déclinaison. Il existe donc un troisième mouvement, en déclinaison; il est aussi produit par une révolution annuelle, mais en sens contraire du second mouvement (mouvement de translation). Par la combinaison de ces deux mouvements à peu près égaux et opposés, il arrive que l'axe reste toujours parallèle à lui-même, comme s'il était immobile. C'est ainsi que le Soleil parcourt, en apparence, l'écliptique et paraît avoir successivement toutes les déclinaisons possibles. »

On voit que Copernic s'était persuadé que le mouvement diurne dérangeait le parallélisme que l'axe terrestre doit conserver dans son mouvement annuel, et que c'était pour rétablir ce parallélisme qu'il avait imaginé l'hypothèse, bien gratuite, de son troisième mouvement.

La précession des équinoxes, que les anciens attribuaient à un mouvement particulier de la sphère céleste, Copernic chercha le premier à l'expliquer « par des mouvements de libration qui font décrire lentement aux pôles de la Terre des lignes semblables à des corolles contournées (*librationes concurrentes invicem efficiunt, ut poli terræ cum tempore lineas quasdam describant corollæ in-*

tortæ similes)[1]. » Bien que son explication soit assez obscure et fort embarrassée, elle est cependant remarquable en ce qu'elle fait tourner les pôles de la Terre autour des pôles de l'écliptique. La vraie cause de ce mouvement devait encore rester ignorée pendant plus de deux siècles.

Quoi qu'il en soit de l'imperfection de ses idées de mécanique, Copernic n'en est pas moins le principal fondateur de l'astronomie moderne.

Disciples de Copernic.

L'auteur du *De revolutionibus orbium cœlestium* était un *révolutionnaire* dans la plus grande acception du mot. Aussi peut-on compter les contemporains qui osèrent suivre ses traces. Rappelons ici combien est fausse l'idée que l'on se fait du progrès. Les sentinelles avancées que l'on proclame les fondateurs de la science ou les bienfaiteurs du genre humain effrayent ou irritent l'immense majorité des contemporains par l'audace de leur initiative; les statues que nous élevons aujourd'hui à leur mémoire nous font illusion sur le temps, — illusion bien plus difficile à déraciner que les illusions optiques de l'espace! — elles nous font croire que ces grands hommes du passé avaient, de leur vivant, autant de disciples qu'ils ont maintenant d'admirateurs. Voilà une de ces erreurs radicales qui montrent que l'histoire de l'esprit humain est encore à faire.

Pendant tout le seizième siècle, on ne voit qu'un très-petit nombre d'astronomes se déclarer franchement pour le système de Copernic. A plus d'un titre, ils méritent d'être signalés.

Rheticus, dont le véritable nom était *Joachim* (Geor-

1. *De revolutionibus orbium cœlestium*, III, 3.

ges), naquit le 15 février 1514 à Feldkirchen, dans le pays des Grisons, l'ancienne *Rhætia*, d'où le surnom de *Rheticus.* Il étudia les mathématiques à Zurich, sous la direction de Myconius, et fut, en 1537, appelé à enseigner cette science à l'université de Wittemberg, où il eut pour collègue Luther. Ayant entendu parler des idées de Copernic, il se rendit, en 1539, à Frauenberg, et devint le premier disciple du réformateur de l'astronomie. En 1542, il vint reprendre sa chaire à Wittemberg, et se rendit la même année à Nuremberg pour acquérir les papiers laissés par Régiomontanus et Werner. On le retrouve ensuite à Leipzig, enseignant les mathématiques et l'astronomie, puis en Pologne et en Hongrie. Il mourut à Kaschau, en Hongrie, le 4 décembre 1576, à soixante-deux ans.

Dans un livre dédié à Schoner et qui a pour titre : *De libris Revolutionum eruditissimi Nic. Copernici Narratio* (Dantzig, 1540, in-4°), Rhéticus adopte franchement les idées de Copernic et les défend avec verve contre ses détracteurs. Les autres ouvrages de Rhéticus sont : *Orationes de Astronomia*, etc. (Nuremberg, 1542); — *Ephemeris ex fundamentis Copernici* (Leipzig, 1550), opuscule rarissime qui contient, outre les Éphémérides pour l'année 1551, des détails curieux sur la vie de Copernic.

Reinhold (Érasme), né à Saalfeld (Thuringe), le 21 octobre 1511, enseigna l'astronomie à l'université de Wittemberg, et quitta cette ville en 1552 pour se retirer dans son pays natal, où il mourut le 19 février 1553, avant d'avoir atteint l'âge de quarante-deux ans. Il est l'auteur des Tables astronomiques Prussiennes (*Prutenicæ tabulæ cœlestium motuum;* Wittemberg, 1551, in-4°), ainsi nommées parce que Albert, margrave de Brandebourg et duc de Prusse, était le protecteur de Reinhold. Ces tables avaient été faites d'après les observations de Copernic, comparées avec celles d'Hipparque et de Ptolémée. Reinhold y ajouta ses propres observations. Il donne une explication fort claire de l'équation des temps, et indique trois

manières de calculer les tables astronomiques, construites pour une période déterminée, en prenant pour base le mouvement de l'apogée, la variation de l'excentricité et l'inégalité de la précession. Il donne, pour la variation de l'excentricité du Soleil de 0,0417 à 0,03219, et fixe la précession moyenne à 50″ 12‴. En combinant certaines observations de Ptolémée et de Copernic, il assigna à l'année une longueur de $365^j\ 5^h\ 55^m\ 58^s$; c'est la détermination qui fut adoptée pour la réforme du calendrier grégorien.

Dans la préface de son Commentaire de Purbach (*Commentarius Theoricæ novæ planetarum J. Purbachii;* Wittemberg, 1542, et 1558, in-8°), qui devait suppléer aux omissions de cet auteur et faciliter l'intelligence de certains passages de l'Almageste de Ptolémée, Reinhold se montre partisan de l'astrologie au point de vouloir rassembler tous les exemples qui paraîtraient confirmer la croyance que les éclipses de Soleil présagent de grandes calamités.

Reinhold fut beaucoup moins ardent que Rhéticus à défendre le système de Copernic. En supputant le mouvement des planètes tantôt à la façon de Ptolémée, tantôt suivant les idées de Copernic, il voulait prendre un juste milieu. C'était un esprit timoré, qui reculait devant les hardiesses de Copernic.

Mæstlin (Michel), né à Goeppingen, en 1550, étudia la théologie et les mathématiques à Tubingue et se mit à voyager en Italie, où il prononça, dit Weidler[1], en faveur du système de Copernic, un discours qui décida Galilée à abandonner définitivement le système de Ptolémée. Après son retour de l'Italie, il devint pasteur à Bachnang, et professa ensuite les mathématiques et l'astronomie successivement à Heidelberg et à Tubingue. Quoique partisan déclaré du système de Copernic, il enseignait néan-

1. *Historia astronomiæ*, p. 346.

moins l'immobilité de la Terre, « à cause de sa position officielle de professeur. » C'est lui-même qui nous le donne à entendre dans son *Epitome astronomiæ* (Heidelberg, 1582), souvent réédité depuis. Quel aveu ! — Cela montre pourquoi, en tout temps, la vérité est si lente à se faire jour.

Mæstlin s'était particulièrement livré à l'étude des comètes, comme l'attestent : *Observatio et Demonstratio cometæ anni* 1577 et 1578 (Tubingue, 1578, in-4°); *Consideratio et Observatio cometæ qui anno* 1580 *apparuit* (Heidelberg, 1581, in-4°) ; *De cometa anni* 1618 (Tubingue, 1619). Il écrivit aussi sur l'étoile qui parut en 1572 dans la constellation de Cassiopée, et il donna le premier la véritable explication de la lumière cendrée de la Lune, en l'attribuant au reflet de la Terre éclairée par le Soleil. — Sa correspondance et la plupart de ses écrits ont été publiés dans l'édition complète des Œuvres de Kepler, par Ch. Frisch (Francfort et Erlangen, 1858-1873, 8 vol. gr. in-8°).

Mæstlin fut le maître de Kepler, et c'est là peut-être son plus beau titre de gloire. Il paraît d'ailleurs le reconnaître lui-même, quand il dit que, « avant Kepler, les savants n'avaient attaqué l'astronomie que par derrière. »

Il y eut encore quelques autres partisans du système de Copernic, tel que *Christian Wurstisius*, qui fit quelques prosélytes en Italie ; mais leur timidité ou leurs fonctions publiques les empêchaient de se déclarer ouvertement pour la doctrine nouvelle. C'étaient des conspirateurs qui ne demandaient qu'une occasion favorable pour faire éclater leur zèle, sans compromettre leurs intérêts.

Astronomes adversaires de Copernic.

Les astronomes du seizième siècle qui repoussaient les idées coperniciennes, étaient très-nombreux. Au lieu d'en parler, nous devrions les condamner à l'oubli : ce ne serait que de la justice. Il faut cependant faire une exception à l'égard de ceux qui, plus mathématiciens qu'astronomes, n'ont pas été tout à fait inutiles aux progrès de la science. Tels sont ceux que nous allons mentionner brièvement.

Apianus (Pierre-Philippe), dont le vrai nom était *Bienewitz* (de l'allemand *Biene*, abeille, en latin *Apis*, d'où le nom d'*Apianus*), naquit à Leysnich en Misnie, en 1495. Il enseigna les mathématiques à Ingolstadt, et fut en faveur auprès de Charles-Quint, qui lui donna le titre de chevalier de l'empire germanique avec un présent de 3000 écus d'or. Il mourut en 1551, à l'âge de soixante-quatre ans, et eut son fils, *Philippe*, pour successeur dans sa chaire de mathématiques à Ingolstadt. On a de lui : une Cosmographie (*Cosmographia sive Descriptio universi orbis*), souvent rééditée ; l'édition d'Anvers de 1584, in-4°, contient en même temps divers traités de Gemma Frisius et d'autres auteurs ; — *Astronomicum Cæsareum ;* Ingolstadt, 1540, in-fol.; l'auteur y propose de substituer les instruments aux tables astronomiques, pour trouver en tout temps la position des astres et toutes les circonstances des éclipses. Kepler désapprouva cette idée, qu'il trouvait malheureuse (*miserabilem*).

Apianus fut un des premiers à proposer les verres colorés pour observer le Soleil, et l'observation des mouvements de la Lune pour déterminer les longitudes. Il remarqua aussi, l'un des premiers, que les queues des comètes sont toujours situées à l'opposite du Soleil et dirigées suivant

une ligne qui est le prolongement de la droite menée du centre du Soleil à celui de la comète.

Son fils, *Philippe*, mort en 1589, adressa une lettre au landgrave de Hesse-Cassel sur la nouvelle étoile apparue dans Cassiopée en 1572, et publia *De cylindri utilitate*, Tubingen, 1588, et *De usu Trientis, instrumenti astronomici*, *ibid.*, 1586.

Bassantin (Jacques), mort en 1568, Écossais d'origine, paraît être venu en France sous le règne de Henri II. Il se livrait à l'astrologie, ce qui le mit en faveur auprès de Catherine de Médicis, à laquelle il dédia son *Astronomique Discours*, Lyon, 1557, gr. in-fol., orné d'une multitude de figures coloriées. La plupart de ces figures se composent, dans l'exemplaire que nous avons sous les yeux, de divers cercles enchâssés et tournant les uns dans les autres. Un fil partant du centre commun sert à marquer les longitudes et les latitudes des planètes. Des figures de même genre indiquent les phases de la Lune, les mouvements horaires, les mouvements des nœuds, etc. L'auteur a suivi le système de Ptolémée. Le *Discours astronomique*, qui fut traduit en latin et eut de nombreuses éditions à la fin du seizième siècle, contient: *Traité succinct et familier pour servir à l'intelligence des Tables des Sinus; Traité des triangles, tant rectilignes que sphériques; Traité sur la sphère du monde; la Théorique des cieux; la Pratique des mouvements célestes*. On n'y trouve aucune idée neuve.

Le célèbre médecin *Frascator*, natif de Vérone, auteur du poëme la *Syphilis*, se livra avec ardeur, vers la fin de ses jours, à l'étude des mathématiques et de l'astronomie. Ses œuvres ont été publiées après sa mort, à Vérone, 1555, in-4°, et à Padoue, 1728, in-8°. A côté de beaucoup d'erreurs, on y trouve quelques idées originales, comme sur la disposition des verres et d'autres milieux transparents pour voir les objets *de loin*: on a voulu voir là le germe de l'invention des télescopes. Il dit aussi que « les montagnes étaient jadis couvertes des eaux de la mer, que les parties

aujourd'hui couvertes par la mer deviendront un jour habitables, et que tout ce qui est maintenant habité sera un jour submergé. »

Un autre médecin, non moins célèbre, *Fernel* (né en 1497, mort en 1558), premier médecin de Henri II, roi de France, se fit un nom dans l'histoire de la science en reprenant le premier, parmi les modernes, l'idée d'Ératosthène pour mesurer la grandeur de la Terre. A cet effet, il alla de Paris à Amiens, qui est presque sous le même méridien, mesurant le chemin qu'il faisait par le nombre de révolutions d'une roue de voiture ; il s'avança ainsi du midi au nord, jusqu'à ce qu'il eût trouvé exactement un degré de plus pour la hauteur du pôle. Il évalua, par ce moyen, la grandeur du degré à 56,746 toises de Paris. Ce résultat approcha beaucoup de celui qu'obtint un siècle plus tard Picard, et qui servit à Newton à la découverte de la loi de la gravitation universelle. Fernel a consigné les détails de son entreprise dans un curieux ouvrage intitulé *Cosmotheoria*, Paris, 1528, in-fol.

Gemma, surnommé *Frisius* (le Frison), mort à Louvain en 1555, composa plusieurs opuscules astronomiques (*De principiis astronomiæ*, etc., Paris, 1547, in-4°; *De astrolabio catholico*, Œuvres, 1516 ; *De radio astronomico et geometrico liber*, ibid., 1545), où il ne s'élève pas au-dessus des idées traditionnelles.

Gauric (Luc), né en 1476 à Gifoni (royaume de Naples), mort évêque à Rome en 1558, s'occupa bien moins d'astronomie que d'astrologie, comme le témoignent ses œuvres (*Opera omnia quæ exstant Lucæ Gaurici*) publiées à Bâle, 1575, 3 vol. in-fol. Il tira, entre autres, l'horoscope du roi Henri II, et annonça que ce prince vivrait jusqu'à l'âge de soixante-dix ans, pourvu qu'il passât la soixante-quatrième année, prédiction conditionnelle qui n'engageait pas beaucoup la responsabilité de l'astrologue.

Magini (Jean-Antoine), né en 1536, mort en 1617, professeur à Bologne, composa des tables astronomiques,

ainsi que des éphémérides, commenta Ptolémée et Régiomontanus, et écrivit douze livres sur le Premier mobile, où il traitait de la trigonométrie sphérique, de la gnomonique, etc. (*Primum mobile duodecim libris contentum*, Bologne, 1609). Mais il ne contribua en rien à l'avancement de la science.

Nous ne devons pas omettre ici *Guillaume IV*, landgrave de Hesse-Cassel (né en 1532, mort en 1592), fils du landgrave Philippe, l'un des chefs du protestantisme, et qui devint, à la bataille de Muhlberg, prisonnier de Charles-Quint. Un souverain qui, non content de protéger la science, la cultivait lui-même avec succès, est un exemple assez rare pour qu'il mérite une mention particulière. En 1561, le landgrave Guillaume fit élever, à l'une des portes de Cassel, une tour où il allait souvent, sans aucun aide, observer les astres. Il associa ensuite à ses travaux Christian Rothmann et Juste Byrge[1]. Les observations du landgrave et de ses associés furent publiées par Snellius sous le titre de *Cœli et Siderum in eo errantium observationes Hassiacæ*; Leyde, 1618, in-4°. On y trouve un Catalogue des étoiles, qui a été reproduit dans l'*Historia cœlestis* d'Albert Curtius et de Lucius Barretus. Ce Catalogue était fort estimé; Hévélius en préférait les déterminations à celles de Tycho, avec lequel le landgrave était en correspondance. La méthode employée pour déterminer la position des fixes était celle qu'on emploie encore aujourd'hui. Elle consistait à mesurer la déclinaison d'une étoile par sa hauteur méridienne, et son ascension droite par le temps écoulé entre son passage par le méridien et celui du Soleil ou de quelque autre étoile dont l'ascension droite était connue. Des horloges construites avec un soin extrême servaient à cette fin.

Le landgrave Guillaume n'adopta pas le système de Co-

1. Byrge avait construit les instruments astronomiques du landgrave de Hesse.

pernic, de même qu'il repoussa la réforme grégorienne du calendrier; il la repoussa principalement à cause du ton impérieux que prenait Grégoire XIII dans sa bulle. Son avis, qu'il soutint à la diète de Ratisbonne, fut suivi par tous les princes protestants.

La Gnomonique au seizième siècle.

La gnomonique et la construction des cadrans solaires faisaient l'occupation d'un certain nombre d'astronomes contemporains de Copernic. La réforme du calendrier, depuis longtemps dans l'air, approchait.

Munster (Sébastien), né en 1489, à Ingelheim, mort à Bâle le 23 mai 1552, auteur de l'*Organum Uranicum* (Bâle, 1536, in-fol.), qui servit de base à la Cosmographie de Belleforest, fait connaître dans son *Horologiographia* (Bâle, 1531, in-4°) une construction graphique qui devait remplacer avec avantage le style droit ou gnomon des anciens; c'était un triangle rectangle dont un côté représentait le plan horizontal, l'autre le plan vertical, et l'hypoténuse l'axe du monde; la perpendiculaire abaissée de l'angle droit sur l'hypoténuse représentait l'équateur du monde. Avec les trois lignes du triangle rectangle l'auteur décrivait les trois cadrans ou cercles principaux, l'équinoxial, l'horizontal et le vertical. La tangente commune aux trois cercles s'appelait *ligne de contingence.*

Pour simplifier encore davantage cette construction, qui fut universellement adoptée, Munster donna un quart de cercle, au moyen duquel on pouvait construire les cadrans horizontaux pour toutes les latitudes, depuis 36° jusqu'à 62. C'est ce qu'avait déjà fait Stoefler, dans un Traité sur le calendrier romain, imprimé en 1518.

Schoner, dans son traité de gnomonique (*Gnomonice, hoc est, de descriptionibus horologiorum*, etc., Nuremberg,

1562), parle des différentes espèces de cadrans. Mais les figures qu'il en donne sont tellement surchargées de lignes inutiles, ses explications sont si obscures qu'il est, dit Delambre, difficile de voir ce qu'il a voulu dire.

Les traités de Bénédict (*De Gnomorum umbrarumque solarium usu*, Turin, 1574), d'Élie Vinet (*Manière de faire les quadrans solaires*, Poitiers, 1564), de Valentin Pini, de Jean de Padoue, et d'autres, n'ajoutèrent aucun fait nouveau à la science.

CHAPITRE II.

LE CALENDRIER GRÉGORIEN.

On rapporte au concile de Nicée, tenu en 325, la fixation de la fête de Pâques, sur laquelle se règlent toutes les autres fêtes mobiles. Au sujet de ce concile on lit dans Eusèbe (*Vie de l'empereur Constantin*, III, 5) qu'un différend s'était élevé touchant le jour où l'on doit célébrer la fête de Pâques. « Les uns, dit l'auteur, soutenaient qu'il fallait suivre la coutume des Juifs ; les autres prétendaient qu'il fallait examiner exactement le temps, et ne pas s'accorder avec un peuple si éloigné de la grâce de l'Évangile. »

Les Juifs célébraient leur fête de Pâques *le jour même de la première pleine lune qui suit l'équinoxe du printemps.* Beaucoup de chrétiens en faisaient autant, ce qui prêtait aux railleries des philosophes païens. Or, pour prévenir désormais tout point de contact entre le christianisme et le judaïsme, il fut décrété par l'empereur Constantin, d'accord avec le concile de Nicée, que les chrétiens célébreraient leur fête de Pâques *le premier dimanche après la première pleine lune* (terme pascal) *qui suivrait l'équinoxe du printemps.*

A l'époque du concile de Nicée, l'équinoxe du printemps

tombait au 21 mars. C'est cette date qu'il s'agissait d'abord de rendre fixe. Cependant on continuait à diviser, conformément au calendrier Julien, l'année en 365 jours et un quart (6 heures), et à intercaler tous les quatre ans un jour (année bissextile), en donnant au mois de février 29 au lieu de 28 jours. Or, l'année tropique (l'intervalle compris entre deux retours successifs du Soleil à l'équinoxe du printemps), prise pour mesure du temps, n'est en réalité que de 365 jours 5 heures 48 minutes et 46 secondes. En ajoutant 6 *heures* ou un *quart de jour* au nombre rond de 365 jours, on commettait donc une erreur d'environ 11 *minutes, en plus*. Pour la durée d'une année, onze minutes sont une fraction de temps insignifiante; mais cette erreur, souvent répétée, devenait considérable : au bout de 134 ans elle fut déjà d'environ 1 jour ; elle fut de 3 jours au bout de 402 ans.

Cette erreur, dont s'étaient déjà aperçus Bède, Roger Bacon, Pierre d'Ailly et d'autres, eut pour conséquence que l'équinoxe du printemps, qui à l'époque du concile de Nicée tombait au 21 mars, arriva, au seizième siècle, par anticipation, le 11 du même mois, c'est-à-dire qu'il arriva dix jours *trop tôt* : l'équinoxe avait donc *rétrogradé*. Il était temps de songer à corriger l'erreur. Cette *rétrogradation* était, ne l'oublions pas, une simple faute d'observation et de calcul; elle n'a rien de commun avec la *précession* des équinoxes, avec laquelle il ne faut pas la confondre, comme l'a fait Voltaire dans son *Essai sur les mœurs*. La rétrogradation de l'équinoxe d'environ 11 minutes par an, d'après le calendrier Julien, était une erreur purement humaine. Supposons que deux hommes observent, pendant plusieurs jours de suite, le passage du Soleil au méridien (abstraction faite de l'équation du temps), l'un avec un bon chronomètre, l'autre avec une mauvaise montre qui avancerait, par exemple, de 10 minutes en 24 heures; il s'ensuivra que, pour le dernier, déjà au bout de six jours, le Soleil passera

une heure trop tôt : la montre marquera 1 heure quand le chronomètre n'indiquera que midi ; il y aura donc une heure à retrancher pour mettre la montre d'accord avec le chronomètre. C'est ainsi que le pape Grégoire XIII, après avoir consulté les astronomes *Lilius*, *Clavius* et d'autres savants, ordonna, en 1582, la suppression de 10 jours, en passant immédiatement du 4 au 15 octobre de la même année, appelée *année de la correction ;* il décréta en même temps que l'on aurait, comme dans le calendrier Julien, tous les quatre ans un jour intercalaire. Mais, pour retenir l'équinoxe à la même date (21 mars), il fut également décrété que l'on supprimerait certaines années bissextiles.

Rappelons ici que, dans le calendrier Julien, toute année dont le millésime est divisible par 4, est bissextile ; telles sont les années séculaires 1600, 1700, 1800, 1900, etc. On songea d'abord à supprimer le 29 février de toutes ces bissextiles, mais on s'aperçut aussitôt qu'on serait tombé dans le défaut contraire. On imagina donc de rendre bissextiles seulement les années séculaires dont les nombres sont, après la suppression des deux derniers zéros (indiquant les siècles), divisibles par 4. Ainsi l'année 1600, qui a été bissextile (16 est divisible par 4), sera suivie de trois années séculaires (1700, 1800, 1900) non bissextiles (17, 18 et 19 n'étant pas divisibles par 4) ; l'année 2000 sera bissextile (20 est divisible par 4), et ainsi de suite.

Ce système d'intercalation mitigé ne suffit pas encore, il est vrai, pour tomber juste en épuisant les fractions de l'année tropique ; mais l'erreur qu'il laisse subsister est relativement insignifiante ; car ce n'est que tous les 4000 ans que l'équinoxe aura avancé d'un jour, ou qu'il y aura un jour à retrancher ; c'est donc seulement en l'an 5600 que l'équinoxe tombera le 20 mars.

Voilà comment le calendrier Grégorien a trois jours de moins, tous les 400 ans, que le calendrier Julien.

Mais la correction du calendrier, telle que nous venons

de l'exposer, se complique d'une autre question, bien plus difficile, et qui avait de tout temps occupé les astronomes, celle de concilier l'année solaire avec l'année lunaire.

La fête de Pâques ayant été fixée au premier dimanche après la Pleine Lune qui suivrait l'équinoxe du printemps, cette fête ne peut arriver ni plus tôt que le 22 mars, ni plus tard que le 25 avril. Du 22 mars au 25 avril, ces deux termes compris, il y a 35 jours. Pâques peut donc occuper trente-cinq termes différents. Les fêtes mobiles, telles que l'Ascension, la Pentecôte, la Trinité, etc., réglées sur la fête de Pâques, peuvent varier dans les mêmes limites de 35 jours.

A l'époque où l'on fixa, comme nous l'avons raconté, le jour de Pâques, on avait sur les mouvements du Soleil et de la Lune des idées que l'observation ne confirma point; on croyait que le cycle de Méton (période d'environ 19 ans) formait un nombre de jours égal à celui qui compose 235 mois lunaires synodiques (de 29 $\frac{1}{2}$ jours), de manière qu'après une période de 19 ans, les Pleines Lunes devaient se reproduire aux mêmes jours de l'année solaire, aux jours de même dénomination. Si l'on suppose maintenant que, dans une de ces périodes successives de 19 ans chacune, la Pleine Lune soit arrivée, par exemple, le 25 mars de la troisième année, ce sera le 25 mars de la troisième année de toutes les périodes suivantes qu'il y aura encore Pleine Lune; il en sera de même de toutes les autres phases de la Lune. Il suffisait donc d'avoir noté ces phases dans une première période de 19 ans pour être en état de les prédire à toutes les autres périodes de même durée, qui suivent la première à un intervalle quelconque. Les nombres de la première période, variant de 1 à 19 exclusivement, avec les nombres correspondants de toutes les autres époques, reçurent le nom de *nombres d'or*, et on convint de faire correspondre le premier jour de l'année I d'une période métonienne à une Nouvelle Lune.

Voilà comment, avant le concile de Nicée, on détermi-

naît, par l'emploi de la période de Méton, les phases lunaires pour une année quelconque. Mais on renonça à ce cycle, parce qu'on s'aperçut qu'il ne ramène pas exactement les Nouvelles Lunes aux mêmes points de l'année julienne : 19 années juliennes excèdent les 235 lunaisons du cycle de 1 heure 32 minutes, ce qui fait un jour en 312 ans et demi. L'erreur aurait été de 4 jours en 1582, l'année de la correction.

Aussi dès l'époque du concile de Nicée on avait imaginé, pour calculer les Nouvelles ou les Pleines Lunes une méthode particulière, la méthode des Épactes. Ainsi, connaissant de la Lune le premier jour d'une année, on déterminera facilement tous les jours de cette même année où la Lune sera soit nouvelle, soit pleine. Il importait donc de noter l'âge de la Lune le 1er janvier de chaque année. C'est cet âge qu'on nomme *Épacte* dans le calendrier ecclésiastique. Si, par exemple, la Lune est nouvelle le premier jour de l'année, elle aura 11 jours le premier jour de l'année suivante, puisque 12 lunaisons font 354 jours et qu'il reste 11 jours pour compléter l'année solaire commune de 365 jours. Ce nombre 11 est l'Épacte de la seconde année : il servira à déterminer toutes les Nouvelles ou Pleines Lunes de cette année-là. Le premier jour de la troisième année, la Lune aura 22 jours : 22 sera donc l'Épacte de la troisième année. Le premier jour de la quatrième année, la Lune aura 33 jours, ce qui veut dire qu'il y avait 13 lunaisons dans l'année précédente et que 3 sera l'Épacte de la quatrième année. La série des Épactes correspondantes à la série du cycle de Méton a été représentée de la manière suivante :

Nombres d'or	*Épactes.*
1	X
2	XI
3	XXII
4	III
5	XIV

6	XXV
	VI
8	XVII
	XXVIII
	IX
11	XX
12	I
13	XII
14	XXIII
15	IV
16	XV
17	XXVI
18	VII
19	XVIII.

Voilà la succession des Épactes, telle qu'elle avait été réglée à l'époque du concile de Nicée.

Bien que cette succession se trouvât modifiée par les années intercalaires, Grégoire XIII crut devoir la conserver. Il en résulte que les Épactes, donnant les Nouvelles ou Pleines Lunes moyennes ou *ecclésiastiques*, peuvent différer d'un jour, de deux jours même, des vraies phases de la Lune, déduites des calculs astronomiques.

Quoi qu'il en soit, Grégoire XIII recommanda, dans une bulle spéciale (*Pro data autem nobis a Domino auctoritate*, etc.), le nouveau Calendrier, appelé depuis *Grégorien*, à la sollicitude de l'empereur Rodolphe et de tous les princes de la chrétienté. Les pays catholiques s'empressèrent d'obéir à l'appel du pape. Mais les protestants de toutes les communions s'obstinèrent longtemps à ne pas recevoir de la cour de Rome une vérité « qu'il aurait fallu, a dit avec raison Voltaire, recevoir du grand Turc, s'il l'avait proposée. » — On sait que les Russes et les Grecs continuent à suivre le calendrier Julien, dit *vieux style;* leur erreur est aujourd'hui de douze jours, c'est-à-dire que la correction consiste dans un retranchement de 12 jours.

CHAPITRE III.

TYCHO-BRAHÉ. SA VIE ET SES TRAVAUX.

Le seizième siècle, si brillamment inauguré par Copernic, fut clos par Tycho-Brahé. Le premier tient de Pythagore par la hardiesse de ses conceptions; le second rappelle Hipparque par l'exactitude de ses observations. Voilà comment l'antiquité et les temps modernes se donnent la main à travers les ténèbres du moyen âge.

La famille *Brahé* était d'une noble origine suédoise, dont une branche s'était fixée en Danemarck. *Tycho*, le second de dix enfants, naquit le 13 décembre 1546 à Knudstrop, en Scanie, et fut élevé par un de ses oncles maternels, Sténon Bille. Contrairement à la volonté du père qui, entiché de sa noblesse, n'admettait pour un gentilhomme d'autre carrière que celle de l'épée, l'oncle lui donna des livres et des maîtres. A treize ans Tycho était en état de suivre les cours de l'université de Copenhague, et il n'avait pas encore atteint sa quatorzième année lorsque, le 21 août 1560, une éclipse totale de Soleil décida sa vocation en dirigeant ses études du côté de l'astronomie. Frappé de la justesse du calcul annonçant le phénomène dans les Épémérides de Stadius qu'il s'était procurées, il n'eut pas de cesse qu'il ne se fût mis en posses-

sion des principes de ce genre de prophéties. En 1562, il se rendit, sous la conduite d'un gouverneur, à l'université de Leipzig, en apparence pour y faire son droit, afin de ne pas trop déplaire à ses parents, mais en réalité pour y suivre ses goûts pour l'astronomie, qu'encourageait son ami Scultet en lui fournissant secrètement les moyens de se procurer les instruments nécessaires. Un grand phénomène astronomique, la conjonction de Jupiter et de Saturne, qui avait été annoncée pour l'année 1563 dans les Tables Alphonsines et Pruténiques, le poussa à observer assidûment le ciel étoilé. Un globe gros comme le poing lui servait à s'orienter dans la connaissance des constellations ; un grand compas dont il appliquait le sommet à l'œil et les extrémités des branches sur les deux astres dont il voulait mesurer l'écartement, fut son premier instrument d'observation. Suivant ainsi le cours des planètes à travers les constellations du zodiaque, et comparant leur marche au calcul des Tables, il reconnut, avec autant de joie que d'étonnement, que les Tables Alphonsines s'étaient trompées d'un mois, et les Tables Pruténiques, revues par Copernic, d'un jour dans la prédiction du phénomène signalé. Une pareille découverte était bien capable de faire croire à un jeune homme de dix-sept ans qu'il était appelé à reconstruire l'édifice de l'astronomie sur de nouvelles bases. — L'année suivante, il se procura un rayon astronomique de bois, divisé par transversales (règle parallatique) ; et il passait ses nuits, chaque fois que le ciel le permettait, à observer les astres, pendant que son gouverneur dormait. Un obstacle l'arrêta : il s'aperçut des erreurs de la division de son instrument, et, comme il n'avait pas d'argent pour en acheter un meilleur, il construisit lui-même une table pour corriger ses erreurs. Ces détails se trouvent précieusement conservés dans le journal où il consigna ses premières observations.

Après un court séjour dans son pays natal, Tycho visita, en 1566, Wittemberg, alors célèbre par son université.

Chassé de cette ville par une épidémie, il se rendit à Rostock, où il se battit en duel avec un de ses compatriotes, nommé Pasberg, pour un motif bien futile : il s'agissait de savoir lequel des deux était le plus fort mathématicien. Tycho eut le bout du nez emporté par un coup de sabre; il le remplaça par un nez si artistement fabriqué avec un alliage d'or et d'argent qu'on avait, dit-on, de la peine à le distinguer d'un nez naturel. A Rostock il observa l'éclipse de Soleil de 1567, dont il parle dans ses *Progymnasmata;* c'est la première observation sur laquelle il ait cru pouvoir faire quelque fond. En 1569, on le trouve à Augsbourg en commerce intime avec les deux frères Hainzel, membres du sénat de cette ville et astronomes amateurs. Entouré d'ouvriers habiles, il fit construire un quart de cercle en bois de quatorze coudées, ou d'environ 7 mètres de rayon; vingt hommes pouvaient à peine le soulever, c'était peut-être le plus grand quart de cercle qu'on eût exécuté en Europe; il permettait de pousser les divisions de quinze à vingt fois plus loin que sur les instruments construits jusqu'alors.

Sur les instances de son oncle, qui commençait à rendre justice à la persévérance de ses efforts, Tycho revint dans sa patrie. Sténon Bille, qui aimait l'alchimie, installa son neveu dans le domaine de Herritzwad, près de Knudstrop, jadis un monastère ; il lui construisit un laboratoire et un observatoire. Ce fut là que Tycho partagea son temps entre la chimie et l'astronomie. Mais l'amour qu'il avait pour cette dernière science devait décidément l'emporter. Laissons-le raconter lui-même à quelle occasion. « Dans la soirée du 11 novembre 1572, en quittant mon laboratoire de chimie, je contemplais, selon mon habitude, la voûte céleste, dont l'aspect m'est si familier, lorsque je vis, avec un inexprimable étonnement, près du zénith, dans la constellation de Cassiopée, une étoile d'un éclat et d'une grandeur extraordinaires. Je ne savais si j'en devais croire mes yeux. Pour me convaincre qu'il

n'y avait pas d'illusion, et pour recueillir le témoignage d'autres personnes, je fis sortir les ouvriers occupés dans mon laboratoire, et je leur demandai, ainsi qu'à tous les passants, s'ils voyaient, comme moi, l'étoile qui venait d'apparaître tout à coup.

« L'*étoile nouvelle*, continue Tycho, était dépourvue de queue ; aucune nébulosité ne l'entourait ; elle ressemblait de tout point aux autres étoiles ; seulement elle scintillait plus que les étoiles de première grandeur. Son éclat surpassait celui de Sirius, de la Lune et de Jupiter. On ne pouvait la comparer qu'à celui de Vénus, quand elle est le plus près possible de la Terre. Des personnes ayant une bonne vue pouvaient distinguer cette étoile le jour, même en plein midi, quand le ciel était pur. La nuit, par un ciel couvert, lorsque toutes les étoiles étaient voilées, l'étoile nouvelle est restée plusieurs fois visible à travers des nuages assez épais. Les distances de cette étoile à d'autres étoiles de la même constellation de Cassiopée, que je mesurai l'année suivante avec le plus grand soin, m'ont convaincu de sa complète immobilité. A partir du mois de décembre, son éclat commença à diminuer ; elle égalait alors Jupiter. En janvier 1573, elle devint moins brillante que Jupiter. Voici les résultats de mes comparaisons photoscopiques : en février et mars, égalité avec les étoiles de première grandeur (*stellarum affixarum primi honoris*) ; en avril et en mai, éclat des étoiles de deuxième grandeur ; en juillet et août, de troisième grandeur ; en octobre et novembre, de quatrième grandeur. Vers le mois de novembre l'étoile nouvelle ne surpassait pas la 11ᵉ étoile dans le bras du dossier du trône de Cassiopée. Le passage de la 5ᵉ à la 6ᵉ grandeur eut lieu de décembre 1573 à février 1574. Le mois suivant, l'étoile nouvelle disparut, sans laisser de trace visible à la simple vue, après avoir brillé dix-sept mois.... Dans les premiers temps de son apparition, lorsqu'elle égalait en éclat Vénus et Jupiter, elle resta blanche pendant deux mois ; elle passa

ensuite au jaune, puis au rouge. Elle avait alors quelque analogie avec la couleur rouge d'Aldébaran. Vers le mois de mai 1573, elle reprit sa couleur blanche, un peu livide, semblable à la lumière de Saturne, elle scintillait avec une vivacité extraordinaire pour sa grandeur (de cinquième en janvier 1574) et conserva les mêmes apparences jusqu'à sa disparition totale en mars 1574[1]. »

L'apparition soudaine de l'étoile de 1572 frappa vivement tous les astronomes. Mais les explications qu'ils en donnèrent étaient, pour la plupart, aussi insuffisantes qu'inexactes. Dans une discussion avec Tycho, Cardan identifia l'étoile de 1572 avec celle qui conduisait, du temps d'Hérode, les mages à Bethléem; Théodore de Bèze, adoptant la même hypothèse, ajouta que cette apparition annonçait le second avénement du Christ. Tycho se contenta d'établir que la *nouvelle étoile* n'était pas une comète; que, manquant absolument de parallaxe, elle était plus éloignée que toutes les planètes ; enfin qu'elle devait appartenir à la région des étoiles fixes. Rejetant l'idée péripatéticienne sur l'inaltérabilité des cieux, il n'était pas éloigné d'admettre que de nouveaux astres peuvent se former et d'anciens se détruire, les comparant aux métaux dont les uns ne se fondent qu'à une chaleur très-violente, tandis que les autres sont beaucoup moins réfractaires. — L'étoile de 1572 pourrait bien avoir été un monde qui s'éteignait. Ce qu'il y a de certain, c'est que la rapidité avec laquelle diminuait son éclat extraordinaire, et les différentes colorations qu'elle revêtait, ne permettent aucunement de l'assimiler aux étoiles qui changent d'éclat périodiquement, et dont on connaît aujourd'hui un assez grand nombre.

Quoi qu'il en soit, l'étoile de 1572 rappelle celle qui se montra du temps d'Hipparque et qui donna à ce grand

1. *De admiranda nova stella anno* 1572 *exorta*, dans Tycho-Brahé, *Astronomiæ instauratæ Progymnasmata,* p. 298 et suiv. (édit. 1603).

astronome l'idée de dresser un catalogue des étoiles. On regardait depuis longtemps ce fait comme un conte de Pline, lorsque Ed. Biot trouva dans la collection chinoise de Matuanlin, qu'en effet, dans l'année 134 avant J. C. (environ six ans avant la confection du catalogue d'Hipparque) les Chinois avaient observé une étoile nouvelle dans la constellation du Scorpion.

Tycho se proposait de revoir l'Allemagne et de se rendre de là en Italie, quand une réunion de circonstances semblait devoir le fixer définitivement dans sa patrie. En 1573, il épousa, bravant les préjugés de la caste nobiliaire, une jeune paysanne, d'une rare beauté, nommée Christiane, des environs de Knudstrop, et il fit, l'année suivante, sur l'invitation expresse du roi, un cours gratuit d'astronomie à l'université de Copenhague. Mais dès l'année 1575 on le trouve d'abord à Cassel, auprès du prince astronome Guillaume de Hesse[1]; puis à Bâle. Cette ville, par sa position intermédiaire entre la France, l'Allemagne et l'Italie, lui plut tellement, qu'il résolut de s'y fixer. Il allait y transporter tous ses instruments, lorsque Frédéric II, roi de Danemark, sur les instantes recommandations du landgrave de Hesse, lui concéda, en toute propriété, la petite île de Hven ou Hoëne, située à trois lieues de Copenhague, paya tous ses frais d'installation, et le gratifia, en outre, d'une rente annuelle de 2 000 rixdalers (environ 10 000 francs), d'un fief en Norwége et d'un canonicat dans le diocèse de Roeskilde. Le 13 août 1576 fut posée, sur le plateau central de l'île, la première pierre du château d'Uranibourg qui, surmonté d'un belvedère nommé *Stellberg* (Mont d'étoiles), lui devait servir d'observatoire. Tycho y passa vingt ans, entièrement livré à ses études favorites, aidé dans ses observations et ses calculs par l'élite des étudiants de l'université

1. Voyez p. 316.

de Copenhague. Il y reçut la visite du roi Jacques d'Écosse, qui s'était rendu en Danemark à l'occasion de son mariage avec la sœur de Frédéric II.

A l'avénement de Christian IV, en 1596, tout changea. Les ennemis de Tycho, puissants et nombreux, réussirent à communiquer au jeune souverain leurs sentiments de malveillance, et une commission d'enquête déclara les travaux du grand astronome absolument inutiles pour l'État. Dédaignant de lutter contre une cabale de cour, Tycho quitta son île dès 1597, s'embarqua sur un navire qu'il avait équipé à ses frais, avec sa femme, ses six enfants et quelques disciples dévoués, et se rendit dans le Holstein. Généreusement accueilli par le comte de Rantzau, il passa un an et demi à Wandsbeck, près de Hambourg; ce fut là qu'il acheva son livre, intitulé *Astronomiæ instauratæ mechanica*, qui a pour objet la description de ses instruments. En 1599, l'empereur Rodolphe lui offrit une position égale à celle dont il avait joui en Danemark. Tycho accepta. Entre plusieurs châteaux qui étaient mis à sa disposition, il choisit celui de Benateck près de Prague. Ce fut là qu'il reçut la visite de Kepler. En février 1601, il vint se fixer à Prague même, dans la maison de son ancien ami Curtius. Il y travaillait avec ardeur, aidé de Kepler, de Jœstlin et de Longomontanus, lorsqu'une mort imprévue l'enleva à la science le 24 octobre 1601, dans sa cinquante-cinquième année[1].

Tycho-Brahé a voulu, comme Ptolémée et Copernic, attacher son nom à un système. Prenant trop à la lettre certains passages de la Bible, et adoptant la plupart des raisons données par Ptolémée, il laissa la Terre en repos au centre du monde; frappé, en même temps, de la solidité des arguments de Copernic, il plaça le Soleil au centre

1. On raconte qu'au milieu d'un repas de noces, il éprouva un indispensable besoin naturel ; mais que, ne voulant pas commettre l'impolitesse de quitter la société, il fut pris d'une violente rétention d'urine, qui l'enleva en quelques jours.

des mouvements de toutes les planètes, et fit tourner tous ces corps, avec le Soleil et la Lune, autour de la Terre. Il conserva aussi du système ancien le mouvement diurne, attribué à toute la sphère céleste, entraînant avec elle la Lune, le Soleil et tout le cortége des planètes.

Ce système mixte, ayant la prétention de tout concilier, n'était pas précisément nouveau. Copernic avait un moment songé à disposer les corps célestes comme le faisait Tycho. Mais il y renonça bientôt, pensant avec raison que ce serait contraire à la simplicité de la nature que de faire tourner le centre commun des planètes autour d'un centre secondaire. « Le système de Tycho n'est, dit Montucla, qu'une ingénieuse fiction, telle que celle que pourraient imaginer les astronomes de quelque planète que ce soit. Supposons, en effet, qu'il y ait des habitants et des astronomes dans Mars, et qu'ils s'y obstinent à se placer au centre de l'univers, ils rendront compte de tous les phénomènes par un système semblable à celui de Tycho, c'est-à-dire en faisant tourner autour d'eux le Soleil, tandis que leur planète sera le centre du mouvement de toutes les autres planètes; on en pourra faire autant dans Jupiter, dans Saturne, etc. Il n'y a même pas jusqu'à la Lune dont les astronomes, s'il y en a, ne puissent s'obstiner à se réputer en repos, et en même temps satisfaire mathématiquement à tous les phénomènes astronomiques[1]. »

Découverte de la réfraction astronomique.

Tycho a des titres de gloire plus réels que le système qui porte son nom. Parmi ces titres nous signalerons

1. Montucla, *Histoire des Mathématiques*, t. I, p. 661.

principalement celui d'avoir le premier démêlé l'*effet de la réfraction*. Voici comment il y parvint. Pour déterminer la position des cercles de la sphère par rapport à l'horizon du lieu, il suffit de connaître la hauteur de l'équateur, ou, ce qui revient au même, la hauteur du pôle au-dessus de cet horizon. Jusqu'alors les astronomes avaient rapporté le maximum de hauteur du Soleil au solstice d'été, et son minimum au solstice d'hiver : ils trouvaient ainsi la hauteur de l'équateur par le milieu des deux hauteurs solstitiales. Mais cette méthode avait l'inconvénient d'exiger un intervalle de six mois, et après cette longue attente, on n'était pas sûr d'avoir un temps assez favorable pour faire l'observation. Tycho trouva le moyen de faire cette observation en une seule nuit. Les étoiles circompolaires, qui se tiennent toujours visibles au-dessus de l'horizon, passent deux fois en vingt-quatre heures au méridien, une fois au-dessus et une fois au-dessous du pôle. Or en prenant le milieu de la différence des deux hauteurs méridiennes on a la hauteur du pôle, qui est égale à la hauteur de l'équateur. C'est en employant cette méthode abrégée que Tycho s'aperçut de l'effet de la réfraction, et il constata en même temps que cet effet ne devait pas être négligé. En comparant la hauteur de l'équateur, déduite de l'observation des solstices, à cette même hauteur, déduite de l'observation des étoiles circompolaires, il trouva que ces hauteurs différaient toujours de quatre minutes, quoiqu'elles eussent été prises avec des instruments qui ne comportaient pas une telle erreur. Il n'ignorait pas l'influence de la réfraction ; mais, comme tous les astronomes d'alors, il la croyait négligeable. Pour mieux s'en assurer, il fit construire un cercle de dix pieds de diamètre, qui tournait sur son axe dirigé aux pôles du monde, et pouvait ainsi décrire un parallèle quelconque à l'équateur. Au midi du jour du solstice d'été il plaça l'instrument sur le parallèle du Soleil, et en suivant cet astre jusqu'à son coucher,

il le vit quitter le plan de l'instrument et s'élever tant soit peu au-dessus ; cet effet était d'autant plus sensible que le Soleil se rapprochait davantage de l'horizon. Enfin au solstice d'hiver où, pour Uranibourg, la hauteur du Soleil était de 11°, il remarqua que cet astre s'était écarté d'environ 9 minutes de son vrai parallèle, c'est-à-dire du plan du cercle de l'instrument. Voilà comment Tycho fut le premier conduit à noter l'effet de la réfraction. La hauteur du pôle, ainsi corrigée, lui donna pour l'obliquité de l'écliptique 23°31′½. Il détermina assez exactement la réfraction horizontale, celle qui fait paraître les astres au-dessus de l'horizon qu'ils occupent, et qui représente le *maximum* de l'effet produit, estimé par lui environ 34 minutes. Mais il se trompe sur la véritable cause du phénomène, en l'attribuant aux « vapeurs grossières qui nagent dans l'atmosphère, » au lieu de l'attribuer aux différentes couches mêmes de l'air dont se compose l'atmosphère. Il se trompe également sur la généralité du phénomène; car il croyait que les étoiles n'avaient pas les mêmes réfractions que le Soleil, que les réfractions des étoiles étaient toujours plus petites de 4 minutes et demie, et cessaient à 20° de hauteur, au lieu que celles du Soleil s'étendraient jusqu'à 45° au-dessus de l'horizon. C'est ainsi que la vérité se présente toujours entourée de quelques scories d'erreur.

Théorie de la Lune. Découverte de la variation.

Tycho perfectionna plus qu'aucun autre astronome la *Théorie de la Lune*. Les anciens avaient trouvé deux inégalités dans le mouvement de notre satellite; la première, découverte par Hipparque, va jusqu'à 5° dans les syzygies (conjonctions et oppositions) ; la seconde, appelée l'*évection* (trouvée par Ptolémée), qui a son maximum dans les

quadratures, peut aller jusqu'à 2° 40′ : en s'ajoutant à la première inégalité, elle la porte à 7° 40′. Une troisième inégalité, appelée la *variation* par excellence, qui a son maximum (40′ 30″) dans les *octants*, fut trouvée par Tycho [1].

Reprenant la théorie de l'évection, Tycho lui fit subir une nouvelle épreuve par l'étude des *octants*, c'est-à-dire des époques où les deux rayons vecteurs (allant de la Terre à la Lune et de la Terre au Soleil) font un angle de 45 ou de 135 degrés. La différence entre l'époque observée et l'époque calculée s'éleva jusqu'à 1 heure 20 minutes. C'est pour plier la loi du mouvement aux observations nouvelles qu'il introduisit l'inégalité, nommée la *variation*, qui dépend non-seulement de la distance de la Lune au Soleil, mais de leur position au périgée, c'est-à-dire au point variable de l'orbite lunaire, où la Lune se rapproche le plus de la Terre.

Mais toutes ces corrections successivement apportées à la théorie de la Lune ne représentent pas, comme le rappelle très-bien M. Bertrand, la loi mathématique du phénomène, et deviennent insuffisantes dès que des observations plus précises permettent un contrôle plus rigoureux. Ainsi, les corrections apportées par Tycho [2] laissaient encore subsister un erreur, qu'il trouvait lui-même, dans certains cas, égale à 4 minutes et demie, et qui, indépendante de la position de la Lune dans son orbite, dépend uniquement de celle du Soleil : la Lune est retardée lorsque le Soleil va du périgée à l'apogée ; elle avance, au contraire, pendant l'autre moitié de l'année. Cette nou-

1. Suivant M. Sédillot, l'honneur de la découverte de la variation reviendrait à Aboul-Wéfa, astronome dont Tycho n'avait aucune connaissance. Voyez plus haut, p. 264.

2. Afin que l'inégalité, nommée la *variation*, allât en croissant des syzygies aux quadratures, et qu'en diminuant elle s'anéantît aux syzygies et aux quadratures, Tycho lui avait assigné la proportion du sinus du double de la distance de la Lune au Soleil.

velle inégalité, entrevue seulement par Tycho, se nomme l'*équation annuelle*[1].

Tycho s'aperçut aussi que le mouvement des nœuds de la Lune, qui s'accomplit dans la période de 18 ans et 8 mois, n'était ni égal, ni uniforme comme Hipparque semblait l'avoir supposé. On croyait, en effet, depuis Hipparque que l'inclinaison de l'orbite lunaire sur l'écliptique était constamment de 5°. Mais Tycho découvrit que cette inclinaison variait dans de certaines limites, que la plus petite, dans les quadratures, était de 4° 58′ 30″, et que la plus grande, dans les syzygies, était de 5° 17′ 30″, d'où il tira la moyenne de 5° 8′, ce qui s'accorde avec les observations plus récentes. Il eut en même temps l'idée ingénieuse de représenter la variation de l'inclinaison ainsi que celle du déplacement des nœuds par un mouvement du pôle de l'orbite lunaire dans un petit cercle. Mais il se méprit sur la cause de ces phénomènes. De même qu'il avait admis des réfractions différentes pour la Lune, le Soleil et les étoiles, il admettait aussi une équation du temps différente pour les mouvements du Soleil et de la Lune; il se trompait donc entièrement sur ces alternatives d'augmentation et de diminution de la distance moyenne de la Lune à la Terre, qui amènent des changements analogues dans la durée de sa révolution sidérale, et qui constituent l'équation annuelle.

Du reste, Tycho eut encore recours aux épicycles et aux excentriques de Ptolémée, pour expliquer les inégalités du mouvement de la Lune et des planètes.

1. M. Bertrand, *Les Fondateurs de l'Astronomie moderne*, p. 94.

Catalogue d'étoiles.

A l'exemple d'Hipparque, Tycno voulut donner un *Catalogue des étoiles*. A cet effet, il indiqua d'abord avec soin les défauts des instruments et les vices des méthodes, qu'employaient les anciens pour déterminer la position des étoiles. Les anciens ne pouvaient guère songer à la déterminer exactement par la hauteur méridienne (déclinaison), et par l'ascension droite; car la détermination de la dernière coordonnée suppose qu'on connaisse très-exactement le temps qui s'est écoulé entre le passage par le méridien d'un astre dont le lieu est connu et le passage de l'étoile dont on cherche la position. Un erreur de deux minutes seulement sur le temps occasionnerait une erreur d'un demi-degré sur l'ascension. Or, avec l'emploi de leurs clepsydres, les anciens ne pouvaient pas se croire à l'abri de très-grandes erreurs. Aussi recoururent-ils à une autre méthode: ils se servaient de la Lune pour faire une observation intermédiaire. Pour cela, ils attendaient le temps où la Lune, dans son premier quartier, paraît, sur l'horizon, sensiblement distancée par le Soleil; puis ils en prenaient la différence d'ascension droite: connaissant l'ascension droite du Soleil par la théorie et par l'observation, ils avaient celle de la Lune. Après le coucher du Soleil, l'étoile et la Lune étant également apparentes, ils mesuraient leur écartement et trouvaient par là l'arc de l'équateur correspondant. Mais dans l'intervalle de la première à la seconde observation, la Lune, par son mouvement propre, s'était plus ou moins écartée du Soleil. Ils croyaient donc, — et là était l'erreur, — leur théorie lunaire assez parfaite pour se permettre de calculer, sans erreur sensible, le chemin qu'elle avait fait pendant le temps écoulé: ils estimaient le

lieu de la Lune au moment de son observation avec l'étoile, et de là ils déduisaient le lieu même de l'étoile. Telle était la méthode suivie par Hipparque et Ptolémée pour la confection de leurs catalogues. Sachant tout ce que cette méthode a de défecteux, Tycho imagina, en 1582, de choisir Vénus pour faire l'observation intermédiaire. Cette planète a l'avantage de paraître souvent, sous le nom d'Etoile du Berger, le Soleil étant encore sur l'horizon; et comme son mouvement propre est bien plus lent que celui de la Lune, les imperfections de sa théorie devaient, pensait-il, être bien moins sensibles[1]. En conséquence Tycho prenait, pendant le jour, la position de Vénus par rapport au Soleil, à l'aide d'un sextant de son invention, puis, après le coucher du Soleil, il répétait le même genre d'observation entre une étoile fixe et Vénus; de là il déduisit la longitude de l'étoile, en tenant compte dans l'intervalle des deux observations, du mouvement propre de Vénus, de sa parallaxe et de la réfraction. Voilà comment il détermina l'ascension droite des étoiles les plus remarquables; il trouva ensuite le lieu des autres en mesurant leur déclinaison et leurs distances aux premières. Il rectifia ainsi la position de la presque totalité des étoiles du Catalogue de Ptolémée, et il en fit un nouveau qui comprend 777 étoiles. Kepler inséra le Catalogue de Tycho dans les Tables Rudolphines, après l'avoir augmenté

1. Tycho avait essayé un procédé particulier pour mesurer le temps par l'écoulement du mercure bien purifié et révivifié, qu'il laissait échapper par un petit orifice, conservant toujours la même hauteur dans le vase conique qui contenait le mercure. Le poids du métal écoulé devait donner le temps et l'ascension droite de l'étoile. Il se servit aussi du plomb purifié et réduit par la calcination en poudre impalpable (minium). « Mais pour confesser la vérité, ajoute Tycho, en vrai chimiste astronome, le rusé Mercure qui est en possession de se moquer également des astronomes et des chimistes, s'est ri de mes efforts; et Saturne, non moins trompeur, quoique d'ailleurs ami du travail, n'a pas mieux secondé celui que je m'étais imposé. » (Delambre *Hist. de l'Astronomie moderne*, t. I, p. 176.)

de 223 étoiles, d'après les papiers de Tycho, ce qui porte le total des étoiles de ce Catalogue à 1000. Le mouvement en longitude de la précession des équinoxes y est évalué à 51″ par an, ou d'un degré en 70 ans et 7 mois. Quelque soin que Tycho eût mis à l'exécution de son Catalogne, il était encore loin d'avoir atteint la perfection des Catalogues des astronomes de nos jours.

Ptolémée avait considéré les latitudes des étoiles comme immuables. Tycho s'aperçut qu'elles avaient sensiblement changé depuis l'époque d'Hipparque. Comme ce changement est très-sensible dans les étoiles situées près des solstices, et presque nul dans celles qui avoisinent les équinoxes, il l'attribua à une *variation de l'obliquité de l'écliptique.* « Tout est, ajoute-t-il, dans le ciel dans le même état ; les étoiles, qui étaient les unes par rapport aux autres dans une même ligne droite, y sont encore, comme au temps des plus anciens astronomes. Ces étoiles n'ont donc pas quitté leur place ; mais c'est l'écliptique, et le plan auquel on les rapporte, qui ont varié de position[1]. »

Comètes.

Tycho rejeta au loin les préjugés des anciens relativement aux *comètes.* Il plaça ces astres bien au delà de la région sublunaire, et les comètes qu'il observa en 1577, en 1585 et 1590, lui fournirent l'occasion de se demander « si quelque courbe régulière, décrite autour du Soleil, ne satisferait pas au mouvement d'une comète. » Il remarqua aussi que les comètes ont une plus grande vitesse au périhélie qu'à l'aphélie. Si l'examen des observations ne donne pas, disait-il, les mêmes apparences que l'hypothèse le demande, c'est que

1. *Progymnasmata,* part. I, p. 164.

« ces corps n'ont pas un mouvement aussi régulier que les planètes. Ce sont des astres créés pour s'éteindre. » Puis il ajoute, chose remarquable, que cette différence dans le mouvement d'une comète peut venir de ce que son orbite n'est pas circulaire comme celle des planètes ; il conçoit qu'elle peut être *ovale* et ressembler à la figure d'un œuf. C'était désigner clairement l'*ellipse*.

Extrêmement habile à perfectionner les instruments, d'une sagacité d'observateur rare, Tycho manquait de cette faculté généralisatrice qui embrasse les détails dans une vaste synthèse et en fait sortir des lois universelles.

Les principaux ouvrages de Tycho ont pour titres : *Astronomiæ instauratæ mechanica;* Wandsbeck, 1598, in-fol., Nuremberg, 1602, in-fol., ouvrage devenu très-rare ; — *Astronomiæ instauratæ progymnasmata ;* Prague, 1602, in-4°, où se trouvent réunis divers écrits de Tycho. Cet ouvrage est posthume, comme l'*Historia cœlestis, ex observationibus Tychonis Brahe*, 1582-1602, éditée par Barret; Vienne, 1656-66, in-fol. Les *Tabulæ Rudolphinæ*, commencées par Tycho, furent achevées et publiées en 1627, in-4, par Kepler, après vingt-cinq ans de travail.

CHAPITRE IV.

KEPLER. SA VIE ET SES TRAVAUX.

Le dix-septième siècle s'ouvre avec éclat par les brillantes découvertes de Kepler et de Galilée, et se termine par les immortels travaux de Halley, d'Huygens et de Newton.

Kepler ou *Keppler*[1] vint au monde avant terme (à sept mois), le 27 décembre 1571, à Magstatt, petit hameau près de Weil dans le Wurtemberg. D'une constitution extrêmement délicate, il fut élevé par ses grands parents, à Weil. Sa mère, Catherine Güldeman, fille d'un aubergiste, l'abandonna pour suivre son mari, Henri Kepler, qui servait dans les troupes espagnoles du duc d'Albe pendant la guerre d'indépendance des Pays-Bas. De retour dans leurs foyers, après quatre ans d'absence, ils trouvèrent, en 1575, leur enfant malade de la petite vérole ; après son rétablissement, ils allèrent se fixer dans la petite ville de Lœwenberg. C'est de là que Kepler prit le surnom de *Leomontanus :* il avait seulement appris à lire et à écrire à l'école de

1. Il écrivait lui-même son nom indifféremment *Kepler* ou *Keppler*, comme l'attestent ses autographes.

Lœwenberg. Mais déjà en 1578 ses parents quittèrent cet endroit, par suite de la banqueroute d'un ami pour lequel le père avait répondu, et ils vinrent gérer une auberge à Emmendingen dans le Badois. Leur fils les aidait à servir les pratiques, et à peine lui restait-il quelques loisirs pour satisfaire son désir de s'instruire. Mais les affaires ne prospérant pas, le père, qui avait des prétentions à la noblesse, reprit le métier des armes; il s'engagea dans les troupes de l'Autriche pour combattre les Turcs, et depuis on n'entendit plus parler de lui. La mère, d'un caractère dur et irascible, rendait l'enfant très-malheureux: il avait deux frères, plus âgés que lui, l'un fondeur en étain, l'autre soldat, deux véritables vauriens; c'étaient les préférés de la mère. Chétif, malingre, rebuté de ceux qui auraient dû l'entourer de soins, le jeune Kepler ne trouva, à treize ans, quelque consolation qu'auprès d'une sœur unique, nommée Marguerite, mariée à un pasteur protestant, qui lui-même voyait de mauvais œil dans sa maison la présence d'un beau-frère. Ce pasteur l'employa d'abord aux travaux des champs; mais le trouvant trop faible pour ce genre d'occupation, en même temps qu'il le voyait animé du plus vif désir de s'instruire, il le fit entrer, en 1586, à l'école claustrale de Maulbronn, où le jeune Kepler, apprit, entre autres, la musique. Grâce à la rapidité de ses progrès, il fut reçu, trois ans après, au collége ducal de Tubingue, où il obtint, en 1591, le titre de maître ès arts.

Kepler s'était d'abord voué aux études théologiques, et il allait embrasser la carrière pastorale, lorsqu'il eut l'idée de suivre les cours de Maestlin, qui avait succédé à Apian dans la chaire d'astronomie à l'université de Tubingue. Il a raconté lui-même cette circonstance providentielle de sa vie. « C'est en vérité une voix divine qui, dit-il, appelle les hommes à l'étude de l'astronomie, cette science exprimée, non par des mots et des syllabes, mais par le monde lui-même, par cet effort sublime de l'intel-

ligence humaine à se mesurer avec l'ordre des corps célestes. Mais la fatalité entraîne les hommes vers telle ou telle occupation, pour leur apprendre sans doute secrètement qu'ils font partie de la création, comme ils occupent une place dans les desseins de la Providence. Dès que je fus à même d'apprécier les charmes de la philosophie (*dulcedinem philosophiæ*), j'en embrassai avec ardeur tout l'ensemble (l'astronomie n'a pas cessé de faire partie de l'enseignement de la philosophie dans les universités allemandes). Je ne manquais pas de dispositions naturelles (*aderat quidem ingenium*), et je comprenais assez bien ce qu'on enseignait de géométrie et d'astronomie dans les écoles. Mais il n'y avait là rien qui pût décider de ma vocation. J'étais élevé aux frais du duc de Wurtemberg ; et lorsque je voyais mes camarades hésiter, sur l'invitation de leur prince, à voyager à l'étranger, je résolus d'accepter tout ce qu'on m'offrirait. Le premier emploi qui se présenta fut celui d'astronome [1]. »

Kepler avait vingt-trois ans quand il accepta la place de professeur de mathématiques à Graetz, en Styrie, où l'archiduc Charles d'Autriche venait de proclamer la liberté de conscience. Parti de Tubingue le 11 avril 1594, il entra en fonctions le 24 du même mois. Outre la charge de l'enseignement, il avait celle de faire des almanachs [2]. Six mois après son arrivée, il avait déja rédigé, d'après les principes de la réforme grégorienne, l'almanach pour l'année 1595, et il envoya, le 29 octobre 1594, un exemplaire à Maestlin. Ce fut le premier ouvrage de Kepler. On y trouve la prédiction d'un hiver excessivement rigoureux; ce qui se réalisa, comme l'atteste une lettre adressée à Maestlin. Dans une autre lettre, également adressée à son maître, en date du 3 octobre 1595, il s'exprime ainsi :

1. *De motibus stellæ Martis*, p. 52.

2. *Vita J. Kepleri*, p. 679, t. VIII des Œuvres de Kepler, éditées par Frisch, 1871.

« Avant la création du monde, il n'y avait d'autre nombre que la Trinité, qui est Dieu lui-même. Le monde a été crée avec nombre, poids et mesure. A part les corps irréguliers, il n'y a que six corps réguliers : la sphère et cinq corps rectilinéaires. Le monde est double, mobile et immobile. Le monde immobile est occupé par les étoiles fixes, par le Soleil et par l'éther intermédiaire, trois éléments qui correspondent, dans la Trinité, au Père, au Fils et au Saint-Esprit. Le monde mobile est occupé par les six planètes tournant autour du Soleil qui présente l'image du Père créateur: le Soleil distribue le mouvement comme le Père répand le Saint-Esprit[1]. »

On voit par cette citation quelle influence l'étude de la théologie avait exercée sur l'esprit de Kepler : tous ses écrits s'en sont ressentis, particulièrement son *Mysterium cosmographicum*, qui parut en 1596.

Cet ouvrage, où Kepler se déclare formellement partisan du système de Copernic, lui ouvrit en quelque sorte la carrière de l'astronomie. Tycho et Maestlin en firent de grands éloges.

En 1597, Kepler épousa une Styrienne, riche et noble, Barbara Müller de Mühleck, qui, en se mariant, avait exigé des preuves de noblesse que l'astronome dut faire venir du Wurtemberg. Cette union ne fut guère heureuse. Vers la fin de 1599 commencèrent en Styrie les persécutions religieuses qui firent chasser du collége de Graetz tous les professeurs protestants.

Bien que Kepler eût hautement désapprouvé les attaques de ses coreligionnaires contre l'autorité du pape, il fut condamné à quitter le pays, et à vendre ou à louer les biens de sa femme, dans un délai de quarante-cinq jours. Kepler accepta donc avec empressement l'invitation que lui faisait Tycho de venir à Prague pour l'aider dans l'achèvement de ses travaux. Mais sa position n'en devint

1. Kepler, *Opera omnia* (édit. de Ch. Frisch), t. I, p. 11.

pas meilleure. « Tout est incertain ici, écrivait-il à ses amis ; Tycho est un homme dur et hautain, avec leque il est impossible de vivre. » On promettait à Kepler de beaux honoraires ; mais en attendant il était obligé de faire demander florin par florin ce qu'on lui devait. Après la mort de Tycho (le 24 octobre 1601), la fortune lui semblait enfin sourire. Kepler fut aussitôt nommé astronome de l'empereur Rodolphe II, avec 1500 florins (un peu plus de 3000 fr.) de traitement, et il vint établir sa résidence à Linz près de Vienne. « La solde est brillante, écrivait-il encore, mais les caisses sont vides ; je perds mon temps à la porte du trésorier de la Couronne, et à mendier. »

Après la mort de Rodolphe, arrivée en 1612, Kepler conserva son emploi auprès de l'empereur Mathias, qui l'appela, en 1613, à la diète de Ratisbonne pour régler la correction du calendrier Grégorien, que les protestants continuaient à rejeter. Les arrérages, qui lui étaient alors dus, s'élevaient à 4000 thalers (près de 16 000 fr.) et, quoiqu'il voyageât à la suite de l'empereur, il était obligé, pour vivre, de composer de petits almanachs commandés par des libraires, et de tirer l'horoscope pour des princes curieux de lire leur sort dans les astres.

La libre disposition des manuscrits de Tycho consola Kepler de tous ses déboires ; car c'est de ce moment que date sa gloire. Mais si, comme astronome, il devait désormais jouir d'un bonheur inaltérable, il fut, en revanche, bien malheureux dans sa vie d'intérieur. En 1611, il perdit trois de ses enfants, ainsi que sa femme, devenue d'abord épileptique, puis folle. Quelque temps après, il apprit que sa mère était accusée « d'avoir été instruite dans l'art magique par une tante brûlée comme sorcière, d'avoir de fréquents entretiens avec le diable, de ne pas pouvoir verser de larmes, de faire périr les cochons du voisinage, sur lesquels elle faisait des promenades nocturnes, de ne jamais regarder en face les personnes auxquelles

elle parlait, d'avoir engagé le fossoyeur à lui fournir le crâne de son mari pour en faire un gobelet et le donner en cadeau à son fils Kepler ; » bref, sa mère allait être brûlée comme sorcière. Afin de prévenir le dénoûment de cet étrange procès, dont l'instruction durait depuis plus de cinq ans, Kepler fit, en 1620, le voyage de Linz à Stuttgart, pour intercéder personnellement auprès du duc de Wurtemberg. Mais il ne réussit qu'à faire modifier la sentence qui devait frapper sa mère : il fut arrêté que le bourreau terrifierait la vieille femme en lui présentant pièce par pièce tous les instruments de la torture, et en lui détaillant leur mode d'action. Elle résista à l'épreuve en protestant de son innocence, fut mise en liberté et mourut deux ans après.

De retour à Linz, Kepler eut pour ennemis tous les prêtres catholiques, qui le traitaient non-seulement d'hérétique, mais de fils de sorcière. En butte à mille tracasseries, et abreuvé de dégoûts, il quitta l'Autriche. Le fameux duc de Wallenstein, l'un des généraux de la guerre de Trente ans, qui aimait fort l'astrologie, se l'attacha. Mais comme le grand astronome n'encourageait pas les goûts de l'ambitieux général, il dut bientôt céder sa place à Seni, obscur astrologue italien.

Cependant Kepler avait contracté un second mariage, en épousant Suzanne Rettinger, d'Effertingen en Autriche. Les besoins du ménage augmentant avec la charge de sept enfants, il insista de nouveau pour se faire payer l'arriéré de ses appointements. Dans ce but, il se rendit, en 1630, à la diète de Ratisbonne pour s'adresser directement à l'empereur Ferdinand II, dont la dette s'ajoutait à celle de ses prédécesseurs Rodolphe et Mathias. Les fatigues de ce voyage avaient redoublé la fièvre dont il souffrait depuis quelque temps. A ces souffrances vinrent s'ajouter les déceptions les plus amères ; car il n'entrevoyait aucun espoir de toucher les sommes qui lui étaient dues, et qui ne furent pas même payées à ses héritiers.

Torturé physiquement et moralement, Kepler rendit l'âme le 15 novembre 1630, à l'âge de cinquante-neuf ans. Ne pouvant plus parler, il se contenta de montrer sa tête et d'indiquer du doigt le ciel. Son corps fut inhumé dans le cimetière protestant de Ratisbonne. Ce ne fut que cinquante ans plus tard, après que le mérite du grand astronome avait été universellement reconnu, qu'on lui éleva un magnifique monument. Si, de son vivant, Kepler eût pu avoir l'argent que coûta le monument qu'on lui éleva en 1786, il aurait peut-être vécu quelques années de plus, au grand profit de la science. O stupide et aveugle humanité !

Kepler avait lui-même composé son épitaphe, dont voici les derniers vers :

Mensus eram cœlos, nunc terræ metior umbras;
Mens cœlestis erat, corporis umbra jacet.

(Je mesurais les cieux, à présent je mesure les ombres de la terre :
L'esprit tenait du ciel ; ici gît l'ombre du corps.)

Travaux et découvertes de Kepler.

Kepler a beaucoup écrit, le plus souvent à la demande des libraires, et pour subvenir aux besoins d'une nombreuse famille. Ses ouvrages se ressentent un peu de cette vie tiraillée : ils manquent de plan ou de cadre, pèchent par une certaine redondance, et son style est loin d'avoir la pureté et la concision de celui de Copernic. De ses nombreux ouvrages le plus important par les découvertes qu'il renferme, et celui qui seul aurait suffi à immortaliser le nom de son auteur, a pour titre : *Astronomia nova* Ἀιτιολόγητος, *seu Physica cœlestis, tradita commentariis de motibus stellæ Martis, ex observationibus G. V. Tychonis Brahe : jussu et sumptibus Rudolphi II, Romano-*

rum imperatoris, etc., plurium annorum studio elaborata; 1609, in-fol. (337 pages.)

A la première page l'auteur appelle ce qui dès l'origine avait été admis comme un dogme infaillible, à savoir que « les mouvements révolutifs des corps célestes sont uniformes et circulaires, parce que le cercle parmi les figures et le ciel parmi les corps sont réputés ce qu'il y a de plus parfait. » Voilà ce qu'on enseignait, en effet, depuis plus de vingt siècles. Copernic lui-même, malgré son audace, n'avait pas osé toucher à ce dogme traditionnel. Kepler entreprit le premier de l'abattre. Voici comment il y parvint.

Cet immortel génie commença d'abord par embrasser l'ensemble des phénomènes célestes, en ayant soin de distinguer l'apparent du réel, l'accessoire du principal. Le mouvement général diurne du ciel avait frappé les premiers observateurs. Bientôt ils virent que ce mouvement n'est régulièrement représenté que par les étoiles (les fixes): le Soleil, les planètes et la Lune se dérangent, et arrivent à rester de plus en plus en arrière, de telle façon que les étoiles étaient censées les plus rapides et la Lune le plus lent de tous les astres ; c'est pourquoi la Lune était représentée, dans l'harmonie céleste de Pythagore, par le son le plus grave. Cette confusion du mouvement général diurne (dû à la rotation de la Terre), avec les déplacements propres des astres les plus rapprochés de nous, fut la principale cause de ce tissu inextricable de mouvements que Kepler compare à une pelote de fils (*in fili glomerati modum*). Leur distinction amènera un résultat tout opposé : la Lune sera l'astre doué du mouvement le plus rapide, comparativement aux étoiles, dont le mouvement propre paraîtra nul.

Les anciens savaient, comme nous l'avons montré, que la vitesse angulaire du Soleil (de la Terre), de la Lune et des planètes, c'est-à-dire que les arcs que ces astres décrivent, dans des temps égaux, et qui se mesurent par les droi-

tes partant de l'œil de l'observateur ou du centre de la Terre et aboutissant au centre de chacun des astres mobiles, atteignent leur maximum au périgée (périhélie) et leur minimum à l'apogée (aphélie), en un mot, que le plus grand et le plus petit de ces arcs sont situés aux extrémités de la droite, connue sous le nom de *lignes des apsides*. Rappelons encore que tous les efforts des anciens astronomes tendaient à faire mouvoir les astres uniformément dans des cercles, que dans ce but ils combinaient l'excentricité (distance de la Terre au centre de l'écliptique ou cercle solaire) avec des épicyles, et que, imaginant épicycles sur épicycles, ils parvenaient à faire concorder *géométriquement* les positions des astres avec leurs déplacements angulaires. Les variations de vitesse étaient dès lors supposées purement optiques; elles passaient pour de simples effets de perspective, résultant des conditions de distance et de direction dans lesquelles les éléments successifs de la courbe circulaire se présentaient aux yeux de l'observateur. Dans ce système, qui fut aussi suivi par Copernic et Tycho, les lieux vrais, qu'on s'attachait surtout à observer aux oppositions, n'étaient qu'apparents ; les *lieux moyens* étaient seuls réputés vrais, parce qu'ils suivaient, en apparence, le mouvement uniforme et circulaire.

Idées de Kepler sur l'harmonie et la gravitation universelle.

Kepler ne partagea point la manière de voir de ses prédécesseurs. Le premier il soutenait que les *lieux vrais* sont seuls propres à concilier les observations avec le calcul, et que les *lieux moyens* n'avaient été imaginés que pour satisfaire à une hypothèse et aux besoins du calcul. Cette manière de voir se trouve déjà indiquée au chapitre XV du *Mysterium cosmographicum*; mais quand Kepler publia

cet ouvrage (il n'avait encore que vingt-cinq ans), il avait l'esprit dominé par une idée autrement grandiose. Il importe de la signaler pour faire comprendre la lente genèse des découvertes qui portent le nom de *Lois Kepleriennes*.

Frappé de cette sentence de Salomon : *Omnia in mensura et numero et pondere disposuisti*, et d'autres sentences semblables, Kepler voulut débarrasser le système de Copernic de tout rouage factice, et lier les orbites entre elles par une loi commune des distances et des mouvements. S'emparant des données de Copernic sur les distances et les révolutions des planètes, il en fit pendant plusieurs années le sujet de ses méditations ; mais il n'en recueillit, comme il l'avoue lui-même, que l'avantage de mieux se les graver dans la mémoire. « Je m'abandonnai à cet égard, dit-il, à une hypothèse singulièrement hardie. Je supposai qu'outre les planètes visibles, il y en avait deux autres invisibles, l'une comprise entre Mercure et Vénus, l'autre entre Mars et Jupiter[1]. Mais cela même ne me conduisit point au but. Enfin, je vins à imaginer que les planètes, quant à leur nombre et à leur distance, avaient un rapport direct avec les corps réguliers dont les anciens géomètres s'étaient occupés. Ces corps sont au nombre de cinq : le tétraèdre (pyramide triangulaire, formé de quatre triangles équilatéraux), l'hexaèdre ou cube (formé de six carrés), l'octaèdre (composé de huit triangles équilatéraux), le dodécaèdre (formé de douze pentagones réguliers), et l'icosaèdre (formé de vingt triangles équilatéraux.) » Ce sont là, comme on voit, les cinq polyèdres réguliers, les seuls de tous les solides géométriques qui soient compo-

1. Cette hypothèse de Kepler est fort curieuse, surtout quand on la rapproche, d'une part, de l'existence encore problématique de planètes intramercurielles, et, de l'autre, de la découverte de nombreuses petites planètes, faite de nos jours entre Mars et Jupiter.

sés de figures égales, formant entre elles des angles égaux.

Ces idées d'harmonie, qui rappellent les doctrines pythagoriciennes, plaisaient à l'ardente imagination de Kepler. Comme il y a six planètes (Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne) qui tournent autour du Soleil, et cinq intervalles, il comparait ces intervalles aux dimensions des cinq corps réguliers; et de combinaison en combinaison il parvint à l'arrangement suivant: « Si à une sphère dont le rayon est égal à celui de l'orbite de Mercure on circonscrit un octaèdre, la sphère circonscrite à ce solide aura un rayon égal à celui de l'orbite de Vénus; si à cette seconde sphère on circonscrit un icosaèdre, la sphère circonscrite à ce solide aura un rayon égal à celui de l'orbite de la Terre; si à cette troisième sphère on circonscrit un dodécaèdre, la sphère circonscrite à ce solide aura un rayon égal à celui de l'orbite de Mars; si à cette quatrième sphère on circonscrit un tétraèdre, la sphère circonscrite aura un rayon égal à celui de Jupiter; enfin, si à cette cinquième sphère on circonscrit un carré, la sphère circonscrite à ce solide aura un rayon égal à celui de Saturne. » Kepler crut voir dans cette construction tout à la fois le nombre et l'enchaînement régulier des planètes. Il est inutile d'ajouter que la conception qui le comblait de joie était chimérique; non-seulement depuis lors le nombre des planètes a augmenté, mais les distances des planètes anciennement connues ne s'accordent pas avec celles qui résultent de la considération des cinq corps réguliers.

Dans le même *Mysterium cosmographicum*, Kepler essayait de lier les distances des planètes au temps de leurs révolutions par une loi mathématique. Mais il n'y réussit point alors.

Ces insuccès, qui auraient découragé tout autre, ne firent qu'aiguillonner Kepler. Ils montrent en même temps la tendance de son esprit. *Trouver l'unité et*

l'harmonie dans un désordre apparent, voilà le problème qu'il s'était proposé de résoudre. Dans cette recherche, il a touché de bien près à la loi de la gravitation universelle. Voici l'exposé de ses principes sur la pesanteur.

« Toute matière, dit-il, resterait au repos, si elle était absolument isolée et en dehors de la sphère de *vertu* d'un autre corps. La pesanteur tient à la matière, elle est d'une action réciproque entre des corps de même espèce, qui les porte à se réunir, comme on l'observe dans l'aimant, de telle sorte que la Terre attire beaucoup plus une pierre qu'une pierre n'attire la Terre (*ut multo magis Terra trahat lapidem, quam lapis petit Terram*). Les graves, — surtout si nous plaçons la Terre au centre du monde, — ne sont pas portés vers le centre du monde, comme centre du monde, mais comme au centre d'un corps rond et de même nature (*cognati corporis*), c'est-à-dire de la Terre. Ainsi, quelque part que nous placions ou que nous transportions la Terre, elle jouit de la même *faculté animale*[1]; les graves se porteront toujours sur elle. Si la Terre n'était pas ronde, les corps en tombant (les graves) ne se dirigeraient pas droit vers le centre de la Terre, mais ils se dirigeraient sur des points divers. Si deux pierres étaient placées en quelque lieu du monde, voisines l'une de l'autre et en dehors de la sphère d'attraction d'un troisième corps de même nature (*extra orbem virtutis tertii cognati corporis*), ces deux pierres, comme des corps magnétiques, se réuniraient dans l'intervalle qui les sépare, *elles s'attireraient l'une et l'autre en raison directe de leurs masses*[2].

« Si la Lune et la Terre n'étaient pas, continue Kepler, retenues dans leurs orbites respectives par une *force vitale* ou par *quelque autre force équipollente*[3], la Terre

1. On voit que Kepler mettait la force d'attraction, qu'il appelait *facultas animalis*, au rang des forces vitales; simple affaire de mots.

2. Ce n'est donc pas Newton qui a découvert cette loi.

3. Kepler ne tenait pas, comme on voit, au mot; la réalité de la chose lui suffisait.

monterait vers la Lune d'un cinquante-quatrième de l'intervalle qui les sépare, et la Lune descendrait vers la Terre en parcourant les cinquante-trois parties restantes de cet intervalle; et là elles se réuniraient, supposé toutefois que leur matière fût homogène.

« Si la Terre cessait d'attirer les eaux, tout l'Océan s'élèverait vers la Lune pour faire corps avec elle. La sphère d'attraction (*orbis virtutis tractoriæ*) de la Lune s'étend jusqu'à la Terre, et entraîne les eaux vers la zone torride, en sorte qu'elles viennent à la rencontre de la Lune, dans tous les points où la Lune est au zénith. L'effet est peu sensible dans les mers fermées, il l'est beaucoup plus dans les mers ouvertes, d'une grande étendue, et où le mouvement alternatif des eaux a plus de liberté. Il arrive de là que dans beaucoup de zones ou climats, le littoral reste à découvert, ce qui se présente surtout pour les golfes de la zone torride. Quand les eaux de l'Océan s'élèvent, il peut arriver que dans les golfes étroits, pourvu que leur ouverture ne soit pas trop étroite, les eaux paraissent fuir devant la Lune : elles s'abaissent à cause de la quantité d'eau qui en a été soustraite. La Lune, passant rapidement au zénith, les eaux ne peuvent la suivre aussi vite. Le flux se porte, dans la zone torride, vers l'occident, jusqu'à ce qu'il frappe le rivage opposé et qu'il soit par là infléchi; les eaux reviennent sur elles-mêmes, parce qu'elles sont abandonnées par la force qui les soulevait... C'est de là, pour le dire en passant, que viennent les dunes et les syrtes ; c'est encore à ces masses, ainsi mises en mouvement, que sont dues ces érosions de continents, d'où naissent d'innombrables îles comme dans le golfe du Mexique. Le sol friable des Indes paraît avoir été rompu par les efforts du flux et reflux, avec le concours du mouvement général de la Terre. L'ancien continent s'étendait sans doute autrefois d'une manière continue vers l'orient et le midi, jusqu'à ce que l'Océan vint faire invasion entre la Chine et l'Amérique, comme l'attestent les îles Moluques

et d'autres îles océaniques qui ont surgi par suite de l'abaissement des eaux. »

Aucun écrivain avant Kepler n'avait mis en relief, en traits plus saillants, *l'intervention de la Lune par l'effet de la marée dans la configuration de la surface terrestre.* Mais écoutons la suite :

« Ces détails, ajoute-t-il, étaient sans doute étrangers à mon sujet ; mais j'ai voulu, par cette puissante action de la marée, faire mieux ressortir la force d'attraction (*virtus tractoria*) de la Lune. Il suit de là que, si la force d'attraction de la Lune s'étend jusqu'à la Terre, à bien plus forte raison celle de la Terre doit s'étendre jusqu'à la Lune et beaucoup plus loin, et que rien de ce qui est substance matérielle ne peut échapper à cette sphère d'attraction. Aucun corps matériel n'est absolument léger ; il ne l'est que comparativement, parce qu'il est plus rare qu'un autre, soit naturellement, soit accidentellement par l'effet de la chaleur. J'appelle *rare*, non pas ce qui est poreux, mais ce qui, en général, sous le même volume, a moins de matière et pèse moins qu'un autre corps. Avec cette définition s'accorde aussi le mouvement. Il ne faut pas croire que les corps légers s'élèvent jusqu'à la surface du monde, et que la Terre ne les attire point ; ils sont seulement moins attirés que les corps plus pesants ; ceux-ci les expulsent et, cela fait, ils se tiennent tranquilles, retenus qu'ils sont en leur lieu par l'attraction terrestre.

« Quoique l'attraction de la Terre s'étende fort loin, cependant, si une pierre se trouvait lancée à une distance comparable au diamètre de la Terre, elle ne suivrait plus tout à fait le mouvement de celle-ci. Sa force de résistance se combinerait avec la force d'attraction de la Terre de manière à s'en dégager en partie. C'est ainsi que nous voyons les projectiles s'écarter à l'orient ou à l'occident du lieu où ils ont été lancés, sans que le mouvement de Terre puisse empêcher les écarts, tant que la force de

projection conserve toute sa vigueur. Mais aucun projectile ne peut être lancé à une hauteur égale à la cent-millième partie du diamètre de la Terre ; les nuages et les vapeurs mêmes, quelque ténus qu'ils soient, ne s'élèveront pas dans l'atmosphère à un millième du rayon terrestre. Il suit de là que, ni nuages, ni vapeur, ni projectile, rien de ce qui pèse, n'est capable de résister au mouvement de la Terre. C'est pourquoi ce qui est projeté perpendiculairement retombera au même lieu : la Terre par son mouvement entraîne avec elle tous les corps de l'atmosphère comme s'ils lui étaient attachés par une force magnétique (*vi magnetica non minus concatenata.*[1]) »

Ces quelques lignes contiennent les fondements de la physique générale, céleste et terrestre. Ajoutons que Kepler établit le premier en principe que, par suite d'une impulsion primordiale, *tout mouvement s'exécute en ligne droite*, et que *s'il change de direction, d'autres causes interviennent*; et « c'est là, dit-il, ce qui a lieu pour le mouvement qui s'effectue dans un cercle ou dans une courbe quelconque. » Le premier aussi il compara la lumière à la force motrice du Soleil, et il affirma que « la lumière diminue *comme le carré des distances*. » Et ce n'étaient point là des idées fugitives : Kepler y revient plus d'une fois, comme nous allons le voir.

La loi des aires (2e loi de Kepler)

La *seconde loi* de Kepler, la *loi des aires*, est la *première* dans l'ordre chronologique des découvertes des lois képlériennes.

Nous avons déjà raconté comment Kepler fut associé à Ty

1. *Introductio in Commentaria de motibus stellæ Martis*, p. 151-152, t. III des *Œuvres* de Kepler, édit. Frisch.

cho pour la confection des Tables Rudolphines. « Ce fut là, dit-il, un coup de la Providence. Je me rendis en Bohême au commencement de l'année 1600, dans l'espoir d'apprendre la correction des excentricités des planètes. En voyant Tycho se servir d'un système mixte, je lui demandai la permission de me laisser suivre mes propres idées. La Providence voulut encore qu'il s'occupât de Mars ; toute mon attention fut donc dirigée sur cette planète ; car c'est par les mouvements de Mars qu'il faut arriver à connaître les secrets de l'astronomie ou les ignorer perpétuellement (*ex Martis motibus omnino necesse est ut nos in cognitionem astronomiæ arcanorum venire aut ea perpetuo nescire*, etc.). »

En effet, parmi les planètes, Mars est celle qui, dans sa marche révolutive, s'écarte le plus du cercle ; puis son orbite est la moins éloignée de l'orbite terrestre : la Terre est fort près de Mars quand elle passe entre cette planète et le Soleil, dans les *oppositions*, tandis qu'elle s'en éloigne trois fois plus dans les *conjonctions*, quand c'est le Soleil qui se trouve entre la Terre et Mars. Quant aux autres planètes alors connues, leurs orbites diffèrent si peu du cercle que la nature de la courbe qu'elles décrivent en réalité, n'aurait jamais pu être reconnue avec certitude par une investigation immédiate.

En léguant à Kepler son trésor d'observations, Tycho lui fit, dit-on, promettre solennellement de ne pas s'en servir selon le système de Copernic. Heureusement pour la science, Kepler ne tint pas sa promesse.

Tycho était persuadé que c'était par le lieu moyen du Soleil que devaient passer les apsides des orbites des planètes, et, à l'aide d'un grand échafaudage de cercles, il réussissait assez bien à représenter le mouvement de Mars en longitude ; mais son hypothèse lui faisait complétement défaut en ce qui concernait la latitude. Kepler se refusait à multiplier les centres de mouvement, quand le centre du Soleil pouvait seul suffire ; il suspecta donc l'hypothèse de Tycho de fausseté.

Nous ne le suivrons pas dans tous les détails techniques qui sont exposés tout au long dans les premiers chapitres de ses Commentaires *De Motibus stellæ Martis*. Nous nous bornerons à rappeler la principale condition du problème : elle exige que le rayon vecteur (la droite tirée de l'observateur ou du centre du Soleil au centre de l'astre) « décrive autour du Soleil des angles dont la variabilité s'accorde avec les observations. » Kepler trouva que, pour certaines positions de Mars (dans l'aphélie et le périhélie), le centre de l'orbite divisait en deux parties égales, *bissectait*, l'excentricité totale, c'est-à-dire qu'il occupait exactement le milieu entre le centre de l'excentrique et l'équant de Ptolémée; mais il ne lui semblait pas la devoir bissecter dans d'autres positions (intermédiaires entre celles de l'aphélie et du périhélie). Il en constata des différences (en longitude), qui s'élevaient jusqu'à 8 et 9 minutes. Or les observations de Tycho ne comportaient en aucune façon des erreurs aussi grandes. Kepler en conclut que l'hypothèse géométrique qui les donnait était fausse; que *l'orbite de Mars ne devait pas être un cercle*, et que *pour sauver ces 8 ou 9 minutes, il faudrait recommencer toute l'astronomie.*

Cette conclusion, aussi légitime que hardie, fit faire à Kepler le premier pas décisif dans la voie longue et pénible de ses découvertes [1]. Après avoir déterminé la position de l'aphélie de Mars, la longueur du diamètre qui va de l'aphélie au périhélie, et l'excentricité, il reprit l'hypo-

1. Kepler raconte dans son *Épître dédicatoire à Rodolphe II*, mise en tête des Commentaires *De motibus stellæ Martis*, que Rhéticus avait déjà voulu réformer l'astronomie, mais que, décontenancé par le mouvement de Mars, il avait invoqué le secours de son génie familier (*ad genii sui familiaris oraculum confugisse*), qui, irrité d'avoir été dérangé, le saisit par les cheveux, l'éleva jusqu'au plafond et le laissa tomber sur le plancher, en lui disant : Voilà le mouvement de Mars. Kepler ne rapporte cette histoire que pour montrer dans quelles difficultés il s'était engagé.

thèse qui fait mouvoir Mars sur la circonférence d'un cercle excentrique à équant (point occupé par le Soleil et autour duquel le mouvement est uniforme). D'idées en idées, il vint à imaginer de *substituer les aires aux arcs décrits pour mesurer les vitesses.* Afin d'être bien compris de tout le monde, rappelons qu'*aire* est synonyme de *surface;* que l'aire d'un secteur de cercle c'est l'espace compris entre deux rayons menés du centre et l'arc qu'ils embrassent; enfin que, lorsque dans un cercle les arcs sont égaux, les secteurs le sont aussi. D'après cela, les arcs seront proportionnels au temps pour un astre qui parcourrait ce cercle uniformément. Or, pour mesurer le temps, Kepler conçut l'idée, — idée lumineuse! — de substituer les aires aux arcs de ces secteurs, et pour satisfaire à l'observation, il se plaça, par la pensée, au centre du Soleil (lieu *héliocentrique*), et tira de là des rayons (rayons vecteurs) aux extrémités des arcs parcourus dans une unité de temps. Ces rayons d'inégale longueur devaient représenter les distances variables de la planète au Soleil, et mesurer l'inégalité du mouvement. C'est ainsi que Kepler fut, après de longs détours, amené à établir que *le rayon vecteur héliocentrique de la planète décrit autour du Soleil des aires proportionnelles aux unités du temps,* en d'autres termes, la surface comprise entre deux rayons vecteurs est constante, de telle façon qu'un rayon vecteur donné, en se transportant successivement dans toutes les autres positions, décrit autour du centre du Soleil, non pas des angles égaux, mais des *surfaces égales en temps égaux.* C'est ainsi que tout satisfait à cette *égalité* que les anciens voyaient partout au ciel. Elle n'était pas précisément un rêve; seulement cette égalité, type de la perfection, n'était point là où les anciens l'avaient cherchée.

Telle est la loi qui, généralisée, c'est-à-dire appliquée aux orbites de toutes les autres planètes, est connue sous le nom de *seconde loi de Kepler:* elle fut, en réalité, dé-

couverte la première. Kepler la regardait comme l'expression d'un effet physique. Ayant assimilé le Soleil à un aimant, cet effet devait représenter la somme des tractions exercées par la puissance magnétique de l'astre central sur les planètes suivant les directions des rayons vecteurs. Car, guidé par les idées de Gilbert, Kepler avait considéré le Soleil comme la cause de la lumière et du mouvement. « Mais, dit-il, que d'autres s'assurent si la lumière ne fait pas l'office d'un instrument ou d'un véhicule dont se sert la force motrice. Rien ne se perd de cette force pendant son trajet : elle se fait sentir dans une zone large et éloignée, aussi bien que dans une zone étroite et plus rapprochée de sa source ; en un mot, c'est le principe de tout mouvement du monde (*actus primus omnis motus mundi*).... Quoique la force motrice (*virtus motrix*) ne soit rien de matériel, elle est cependant soumise à des lois géométriques, et par cela même elle s'applique à des corps matériels et les mouvements s'accomplissent dans l'espace et dans le temps. »

On voit avec quelle persistance Kepler revient sur cette idée d'une gravitation universelle, comme s'il sentait que là était le nœud du problème. Il se plaît surtout, chose remarquable, à rapprocher la pesanteur terrestre de la force d'attraction que le Soleil exerce sur les planètes. « Les exemples abondent, dit-il, pour montrer la parenté des phénomènes célestes avec les phénomènes terrestres (*cœlestium cum terrestribus cognatio*).... Tout est simple dans la variété des opérations naturelles. Ainsi, dans un fleuve qui coule, le mouvement simple c'est la tendance de l'eau à se porter vers le centre de la Terre. Mais, comme ce chemin n'est pas direct, le cours de l'eau s'infléchit, suit toutes les sinuosités du terrain, et le mouvement se complique en apparence par des causes étrangères et adventices. »

Les variations de distance des planètes au Soleil, l'accélération de leur mouvement révolutif à mesure qu'elles

approchent de l'astre central et leur ralentissement à mesure qu'elles s'en éloignent, se présentaient à Kepler comme des conséquences très-naturelles de la force d'attraction. Il donne même à entendre clairement que les vitesses, dont les plus grands écarts s'observent au périgée et à l'apogée, sont à peu près en raison inverse du carré des distances (*quam proxima in dupla proportione distantiarum*[1]).

Loi des ellipses (1re loi keplérienne, 2e découverte).

Si Kepler eût essayé de tracer par des points l'orbite de Mars en rassemblant dans une même construction les longueurs et les intervalles des rayons vecteurs héliocentriques qu'il était parvenu à déterminer par le calcul et par l'observation, il aurait découvert d'un seul coup la forme de cette orbite[2]. Mais il était loin de songer d'abord à l'emploi d'un procédé si simple, qui lui aurait épargné bien des peines. Ne pouvant encore se détacher entièrement de la théorie des anciens, il fit des tentatives multipliées pour représenter les mouvements de Mars par un excentrique à équant, dont les éléments étaient calculés de manière à satisfaire aux oppositions de cette planète observée par Tycho. Ce manque de succès, par suite de 8 à 9 minutes de différence (en longitude), non imputable à des erreurs d'observation, l'avait déjà conduit, comme nous l'avons dit, à suspecter la légitimité d'une orbite

1. *De motibus stellæ Martis*, cap. XLII. — En lisant avec attention cet ouvrage, surtout depuis le chapitre XXXII intitulé : *Virtutem quæ planetam movet in circulum attenuari cum discessu a fonte*, jusqu'au chapitre XLII, intitulé : *De defectu æquationum quæ bissectione excentricitatis et arcis triangularibus exstruuntur*, on peut aisément se convaincre que Kepler n'avait qu'un pas à faire pour trouver la loi de Newton.

2. Voyez, pour plus de détails, nos *Saisons*, 2e série, p. 253 et suiv.

circulaire. Mais pour entreprendre une construction graphique rigoureuse, il fallait d'abord en déterminer exactement l'élément principal, c'est-à-dire la direction et la longueur du plus grand diamètre de l'orbite, celui qui, passant par le centre du Soleil, va d'un côté aboutir au périhélie, et de l'autre à l'aphélie de la planète. A cet effet, Kepler prit dans les registres de Tycho cinq observations de Mars, faites près de l'aphélie (17 février 1585, 5 janvier 1587, 22 novembre 1588, 10 octobre 1590, 6 mars 1600) et trois observations faites près du périhélie (1er novembre 1589, 19 septembre 1591, 6 août 1593); puis il essaya d'en tirer tout le parti possible. Il serait trop long de donner ici une analyse complète de ce travail opiniâtre[1]; qu'il nous suffise de rappeler que, chemin faisant, Kepler découvrit que « les vitesses angulaires héliocentriques de la planète au périhélie et à l'aphélie de son orbite sont réciproques aux carrés de ses distances au Soleil dans ces deux points; » ce qui fut le point de départ de la loi (déjà citée) de la *proportionnalité des aires au temps*. Une chose digne de remarque, c'est que ces deux vitesses (au périgée et à l'apogée de Mars) sont calculées dans l'ellipse, dont le foyer correspondait à l'équant de l'excentrique. Mais la vérité, relativement à la forme de l'orbite, lui échappa cette fois; et même lorsqu'il eût entre ses mains tous les éléments nécessaires pour faire mouvoir Mars suivant une courbe dans laquelle le rayon vecteur décrivait autour du Soleil des aires proportionnelles au temps, la vérité qu'il tenait lui échappa de nouveau, comme un véritable Protée.

Se félicitant enfin d'avoir renversé une erreur séculaire en constatant que la planète ne décrit pas un cercle, mais un ovale aplati dans le sens latéral au diamètre qui va de l'apogée au périgée, il chercha quelle forme il pourrait

1. Cette analyse a été très-bien faite par M. Biot, dans son *Traité d'Astronomie*, t. V, p. 146 et suiv.

donner à cette orbite pour arriver à en carrer la surface et y faire décrire au rayon vecteur des aires proportionnelles au temps. La courbe qui se présentait tout naturellement, c'était l'ellipse ; il l'essaya donc. Mais, en soumettant cette nouvelle construction aux mêmes épreuves qu'il avait faites sur l'hypothèse d'une orbite circulaire, il trouva, au lieu d'une concordance, — qui était en réalité presque parfaite, — des discordances intolérables, — qui n'existaient point. Ces discordances avaient leur origine dans une erreur de nombre, dans une évaluation inexacte du petit axe de l'ellipse. Ainsi égaré, il se persuadait que l'ellipse s'écarte de la vérité autant que le cercle, et il l'abandonna pour se livrer à des spéculations nouvelles qui, à son grand désespoir, furent sans résultats. « Voilà comment toute notre théorie, s'écria-t-il douloureusement, s'en alla en fumée : *ecce omnis theoria in fumos abiit.* » Enfin, frappé du retour imprévu du nombre 429, juste la moitié de celui de 858 qui était la cause de son erreur, et qui lui avait fait lâcher la vérité quand il la tenait, il revint définitivement à l'ellipse, et réussit enfin cette fois à établir que *les orbites des planètes sont des ellipses dont le Soleil occupe un des foyers.* C'est là ce qu'on nomme la *première loi de Kepler*, — la seconde dans l'ordre chronologique de sa découverte.

Découverte de la 3e loi de Kepler.

Les deux lois, dont nous venons de tracer l'historique, ne donnent que les *mouvements individuels* des planètes dans leurs orbites propres, sans établir entre elles aucun rapport mathématique. Dès son début dans la science, Kepler était persuadé que ce rapport devait exister : son *Mysterium cosmographicum* témoigne des nombreuses tentatives qu'il fit dans ce sens. Ces tentatives étaient alors préma-

turées, à cause de l'évaluation trop imparfaite des distances relatives des planètes au Soleil.

Dans le même ouvrage, *De motibus stellæ Martis*, où se trouve l'histoire de la découverte des deux premières lois képlériennes, l'auteur parle le premier de la *rotation du Soleil autour de son axe*. Cette proposition, qui était alors une nouveauté intolérable, a été parfaitement démontrée depuis par la découverte des taches solaires. Kepler y était arrivé en comparant le Soleil à un orateur qui, placé au centre de ses auditeurs groupés circulairement autour de lui, ne peut faire face à tous qu'à la condition de tourner sur lui-même.

Vingt-deux ans après la publication de son travail sur Mars, Kepler reprit ses anciennes idées de rapport. Il crut d'abord rêver, — ce sont ses propres expressions, *somniare me primo crederem*,— lorsque, à force de retourner les chiffres, et après avoir été de nouveau détourné de la vérité par une erreur de calcul, il parvint enfin, au bout de dix-sept ans de laborieuses recherches, le 15 mai 1618 (c'est lui-même qui nous donne cette date) à découvrir que *la proportion entre les temps périodiques de deux planètes est exactement sesquialtère de la proportion de leurs distances moyennes*, en d'autres termes, que *les carrés des temps des révolutions de deux planètes quelconques sont entre eux comme les cubes des demi grands axes de leurs orbites*.

Le rapport si ardemment cherché par Kepler existait donc, mais pas précisément comme le grand astronome l'avait conçu, égaré par les doctrines pythagoriciennes sur l'harmonie céleste, où « Saturne et Jupiter devaient jouer la basse, Mars le ténor, la Terre et Vénus la haute-contre, et Mercure le fausset. » Kepler fut tellement enthousiasmé de la découverte de la *proportionnalité des carrés des révolutions aux cubes des distances*, dont l'histoire est racontée dans *Harmonices mundi libri V* (Linz, 1619, in-fol.), que nous ne saurions mieux faire que de reproduire textuellement ce passage :

« Écoutez, hommes très-religieux, très-doctes et très-profonds ! Si Ptolémée dit vrai, il n'y aura aucun rapport constant entre les mouvements et les distances des planètes. Si Tycho a raison, notre prédiction se vérifiera pour tous les corps qui circulent autour du Soleil ; seulement, d'après son système nous aurions deux centres au lieu d'un : le Soleil distribuerait le mouvement aux planètes, et la Terre au Soleil. Si enfin Aristarque a raison de faire du Soleil le centre unique, la loi sera la même pour toutes les planètes. Il n'y a, en effet, nulle exception ; la loi est démontrée par toutes les observations ; on peut donc affirmer positivement que la proportion n'est ni simple, ni double, mais qu'elle est *sesquialtère*, c'est-à-dire $\frac{3}{2}$ (milieu arithmétique entre 1 et 2).... Achevons la découverte, commencée il y a vingt-deux ans :

Sera quidem respexit inertem,
Respexit tamen, et longo post tempore venit.

« Si vous voulez en connaître le moment précis, sachez que ce fut le 18 mars 1618. Conçue, mais mal exécutée, rejetée comme fausse, revenue le 15 mai avec une nouvelle vivacité, elle a dissipé les ténèbres de mon esprit. Elle est si pleinement confirmée par les observations de Tycho, que je croyais rêver et faire quelque pétition de principe. Mais c'est une chose très-certaine et très-exacte, que la proportion entre les temps périodiques de deux planètes est précisément sesquialtère de la proportion de leurs distances moyennes : *Proportio, quæ est inter binorum quorumcumque planetarum tempôra periodica, sit præcise sesquialtera proportionis mediarum distantiarum, id est orbium cœlestium*[1]. »

Ce récit, au moins aussi intéressant que celui d'un miracle, ne respire-t-il pas l'ardeur d'un génie inspiré ?

1. *Harmonices Mundi*, p. 189 (édit. Linz, 1619).

Travaux de Kepler concernant la lumière, la réfraction, la pesanteur de l'air, les éclipses, les comètes, une étoile nouvelle, etc.

Les travaux de Kepler sur la lumière se trouvent consignés dans deux ouvrages, dont l'un est intitulé : *Ad Vitellionem Paralipomena, quibus astronomiæ Pars optica traditur*, etc., Francf., 1604, in-4° ; l'autre : *Dioptrica*, Francf., 1611. Le premier ouvrage contient, en germe, la théorie de l'ondulation et la loi du sinus de réfraction. La lumière consiste, d'après l'auteur, dans un écoulement continu et d'une vitesse infinie de la matière des corps lumineux. En discutant les Tables de Vitellion sur la réfraction de la lumière passant de l'air dans l'eau, Kepler établit nettement que cette réfraction augmente dans un plus grand rapport que les angles d'incidence. Il reconnut aussi que la réfraction astronomique est nulle au zénith, et non pas dès 45° de hauteur, comme l'avait affirmé Tycho ; et il composa une Table assez exacte, où les réfractions indiquées ne diffèrent jamais des réfractions véritables de plus de 9 secondes, depuis le zénith jusqu'à 70°. Le premier aussi il démontra, contrairement à l'opinion de Tycho, qu'à hauteur égale au-dessus de l'horizon, la réfraction de tous les astres est la même, et qu'elle ne dépend ni de leur distance à la Terre, ni de leur éclat. Il pensait avec raison qu'elle devait un peu varier avec l'état de l'atmosphère. Il déduisit de ses calculs de réfraction le rapport de la densité entre l'air et l'eau, et il trouva les nombres 1 et 1177 $\frac{2}{3}$ (le vrai rapport est celui de 1 à 773). « Je n'ignore pas, croyez-le bien, ajouta-t-il, qu'en soutenant que l'air a toujours été pesant, je vais encourir le blâme des physiciens ; mais la contemplation de la nature entière me confirme dans mon idée. » — Torricelli, à qui on attribue généralement la découverte

de la pesanteur de l'air, n'était pas encore né quand ces paroles de Kepler étaient déjà imprimées.

En ce qui concerne le Soleil, Kepler pensait que cet astre est le corps le plus dense de la nature, et il affirme que la masse du Soleil est de beaucoup supérieure à la somme de toutes les masses planétaires. La Lune, qu'il supposait habitable, lui paraissait plus lumineuse au bord qu'au centre. Quant à la lumière rougeâtre qu'elle réfléchit pendant les éclipses, il en voyait la cause dans les rayons réfractés par notre atmosphère, qui diminuent la longueur du cône d'ombre projeté par la Terre à l'opposite du Soleil.— « On a, fait ici remarquer F. Arago, très-peu ajouté depuis Kepler à ce que cette théorie renferme de spécieux et de satisfaisant[1]. »

Dans les mêmes *Paralipomena ad Vitellionem*, Kepler propose le premier d'*assimiler les éclipses de Soleil aux éclipses de Lune*, en supposant l'observateur placé dans le Soleil, et calculant de là l'entrée des différentes régions de la Terre dans le cône d'ombre projeté sur elle par la Lune. L'observateur ainsi placé assiste en réalité au spectacle d'une *éclipse de Terre*. C'est en adoptant cette conception ingénieuse que les astronomes ont pu donner, pour le calcul des éclipses de Soleil, des formules presque aussi simples que les procédés employés pour les calculs des éclipses de Lune. Kepler indiqua en même temps le moyen de déduire des observations des éclipses solaires *la différence de longitude de deux lieux*. Ce moyen est beaucoup plus exact que celui qu'on déduit des éclipses de Lune.

Dans un chapitre *Sur les comètes*, qu'il dit être aussi nombreuses que les poissons de la mer (*sicut pisces in mari*), Kepler essaye d'établir que le noyau est formé d'une matière liquéfiée, lumineuse par elle-même, et que la barbe ou queue, composée d'une matière vaporeuse, se diffusionne toujours du côté opposé au Soleil.

1. *Œuvres* d'Arago, t. III (Notices biographiques), p. 220.

Dans son traité spécial des comètes (*De cometis libelli tres*; Augsb., 1619, in-4°) Kepler fait mouvoir les comètes en ligne directe, puisqu'il croyait que ces astres ne reviennent plus. Il supposait leur queue formée des rayons du Soleil qui, en traversant le corps de la comète, entraîneraient sans cesse des particules de sa substance. Il gourmande Sénèque pour avoir traité de mensonger le témoignage d'Ephore parlant d'une comète qui *se partagea en deux portions suivant des routes différentes*. Tous les astronomes, à l'exception de Kepler, étaient de l'avis de Sénèque, jusqu'à ce que de nos jours la comète de Biela vint leur apprendre que Kepler avait raison d'admettre la possibilité d'un pareil phénomène. Il pensait aussi que des épidémies pouvaient être produites par des comètes dont la queue serait susceptible d'envelopper la Terre. On ne possède encore aucune preuve décisive pour admettre ni pour rejeter une pareille proposition.

Les chapitres *Sur la vision* sont fort intéressants. L'auteur y montre : que la rétine est l'organe essentiel de la fonction visuelle; comment, malgré le renversement des images solaires, nous devons voir les objets droits; que chez les myopes les rayons lumineux, partant d'un objet, se réunissent avant d'atteindre la rétine, et que c'est le contraire qui arrive chez les presbytes. Enfin c'est à Kepler qu'on doit la vraie théorie de la vision.

Dans son traité de *Dioptrique*, Kepler emploie le premier la règle approximative de proportionnalité de l'angle de réfraction à l'angle d'incidence pour étudier les propriétés des lentilles plano-sphériques ou des lentilles dont les deux surfaces appartiennent à des sphères de même rayon; et il donne les formules, encore usitées aujourd'hui, pour calculer les distances des foyers de lentilles semblables. Il imagina aussi le premier de composer des lunettes au moyen de l'accouplement de deux lentilles convexes (Galilée employait toujours une lentille oculaire concave et une lentille objective convexe). C'est donc à

Kepler que revient l'honneur de la combinaison de verres constituant les véritables *lunettes astronomiques*. Il est à regretter qu'il ne s'en soit jamais servi pour observer les astres.

C'est dans son Abrégé de l'astronomie copernicienne (*Epitome astronomiæ copernicanæ*, Linz, 1618 et 1622, 2 vol. in-4°), premier manuel d'astronomie fondé sur les principes de la science moderne, que Kepler parle des *taches du Soleil* qui sont, suivant lui, des nuages ou des fumées s'élevant du sein de cet astre. Il attribua le premier au Soleil une atmosphère, une *photosphère*, qui, ajoute-t-il, forme le cercle lumineux dont la Lune est bordée durant les éclipses totales du Soleil.

La *nouvelle étoile* qui parut tout à coup, en 1604, dans le pied du Serpentaire, et l'étoile changeante dans le col du Cygne, jusqu'alors inconnue aux astronomes, devinrent l'occasion de l'opuscule *De Stella nova in pede Serpentarii*, etc., Prague, 1606, in-8°. L'auteur montre que la nouvelle étoile, d'après les observations qui avaient été faites en différents lieux, n'était douée ni d'un mouvement propre, ni d'une parallaxe annuelle. Dans un petit traité, joint à cet opuscule, il s'attache à prouver que l'année de la naissance du Christ n'a pas été fixée avec précision, et qu'elle est au moins de deux ans antérieure à l'ère vulgaire. C'est ce qu'avait déjà remarqué Bède.

Quelque temps avant sa mort, Kepler avait composé, sous le titre de *Somnium*, une très-remarquable fiction astronomique. Il s'y suppose transporté dans la Lune pour observer de là les phénomènes du ciel. Il montre ainsi que les jours de la Lune sont chacun d'environ un mois, puisque cet astre, présentant toujours la même face à la Terre, met à peu près un mois à faire une révolution sur son axe. Le Soleil reste quinze jours sans se coucher pour les habitants de la Lune; à cette longue journée succède une nuit de quinze de nos jours. Ceux qui occupent la face qui nous regarde, voient perpétuellement la Terre comme un

gros astre immobile, à part quelques balancements (mouvement de *libration*) très-sensibles surtout pour les habitants des bords du disque lunaire : la Terre ne fait pour eux que s'élever de quelques degrés au-dessus de l'horizon pour disparaître bientôt. Les habitants de la face opposée ne voient jamais la Terre briller au ciel : s'ils ont l'instinct des voyages, ils jouiront d'un spectacle inattendu en venant visiter leurs antipodes. Ce livre curieux fut publié par le fils de l'auteur, Louis Kepler, en 1634.

Kepler a laissé, en mourant, beaucoup de manuscrits. Hensch en publia un volume en 1718 ; mais il ne put réunir les fonds nécessaires pour faire paraître le second. De nos jours, M. Ch. Frisch a donné une édition, depuis longtemps désirée, des *Œuvres complètes* de Kepler, dont le huitième et dernier volume a paru à Francfort en 1871.

« Que je sois lu par la génération présente ou par la postérité, peu m'importe, a dit Kepler à la fin d'un de ses plus importants ouvrages. Dieu n'a-t-il pas attendu six mille ans un contemplateur de ses œuvres ! »

Le grand astronome avait raison. Il attendit longtemps pour trouver un lecteur digne de lui. Kepler ne commença à être bien compris que depuis Newton. Galilée, parfaitement en état de le juger, n'en a pas dit un mot dans ses célèbres Dialogues où il s'était attaché à démontrer l'excellence du système de Copernic.

CHAPITRE V.

GALILÉE. SA VIE ET SES TRAVAUX.

Né à Pise le 15 février 1564, Galilée eut d'abord un goût décidé pour la musique, pour le dessin et la poésie. On a publié de lui un sonnet, en style burlesque, qui date de sa première jeunesse. Ses parents, voulant qu'il embrassât une profession lucrative, lui firent, à dix-huit ans, étudier la philosophie et la médecine. C'est à cette époque qu'il faut reporter un fait qui, quelque insignifiant qu'il fût en apparence, décida de l'avenir du jeune étudiant. Un jour de l'année 1583, son attention se fixa, dans la cathédrale de Pise, sur une lampe suspendue, qu'une cause quelconque avait mise en mouvement; il remarqua que *quelque inégale que fût la longueur des arcs qu'elle décrivait, la lampe les décrivait tous dans le même espace de temps*. Il comprit aussitôt qu'il venait de découvrir une loi naturelle, très-importante, et il proposa de l'appliquer à la médecine pour compter les battements du cœur, ou évaluer la fréquence du pouls.

Ce ne fut que longtemps après que Galilée revint sur cette découverte ; il la développa dans ses *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due scienze attenenti alla meccanica*, dont la dédicace est datée d'Arcetri, le 6 mars

1638. Il s'y attache à prouver que le même pendule fait toutes ses vibrations en temps égaux ; que le mobile qui descend par une corde quelconque, « la parcourt toujours dans le même espace de temps, fût-ce le diamètre même, pourvu que toutes les cordes aboutissent à l'extrémité du diamètre perpendiculaire. » — C'était le fait qui servit plus tard à montrer l'analogie des oscillations *isochrones* du pendule avec la pesanteur.— « La descente par les arcs, ajoute l'auteur, qui ne sont pas de 90° se fait aussi en temps égaux et plus courts que ceux des cordes, proposition qui a l'air d'un paradoxe... Les temps des oscillations sont en raison sous-doublée de la longueur des fils, ou les longueurs sont comme les carrés des temps[1]. »

Si l'*isochronisme* des oscillations du pendule n'est pas rigoureusement exact quand les arcs décrits sont très-inégaux, Galilée n'en a pas moins découvert un fait considérable, qui servit, entre les mains de Huygens, à donner une mesure exacte du temps.

La physique et les mathématiques devinrent bientôt les études favorites de Galilée. La lecture du traité d'Archimède *Sur les corps qui nagent sur l'eau*, lui donna l'idée de venger le grand géomètre syracusain des attaques dont il était l'objet de la part des aristotéliciens. Le traité (*Discorso intorno alle cose che stanno in sù l'acqua*, etc.) qu'il écrivit à cette occasion, contient les éléments d'une balance hydrostatique. Suivant les conseils du géomètre Guido Ubaldi, il s'occupa aussi du *centre de gravité des solides*. Content du travail de son élève, Ubaldi le recommanda au grand-duc Ferdinand de Toscane, qui le nomma, en 1589, professeur de mathématiques à Pise.

1. Voyez notre *Histoire de la Physique*, p. 97 et suiv.

La loi de la pesanteur.

D'après les doctrines péripatéticiennes, qui régnaient alors dans les écoles, le mouvement circulaire et uniforme était, pour le répéter, le seul vrai et digne de la simplicité de la nature. Ce fut en partie pour combattre ces doctrines que Galilée entreprit une série d'expériences, pour ainsi dire classiques, *sur la chute des corps*. Déjà Lucrèce avait dit, en très-beaux vers, que les corps pesants, s'ils ne rencontraient pas d'obstacle dans leur chute, tomberaient tous avec la même vitesse. Galilée vérifia le fait : du haut de la tour penchée de Pise, il laissa tomber des corps différents de volume et de poids, et montra aux spectateurs, élèves et professeurs, que *la gravité* ou *la tendance à descendre est la même dans tous les corps*; que si, par exemple, un flocon de laine descend moins vite qu'un lingot d'or, ce n'est point parce que sa densité est moindre, mais parce qu'il rencontre dans l'air un obstacle, une *résistance*, dont il triomphe beaucoup plus difficilement que le métal; que l'on supprime l'obstacle et les deux corps descendront dans le vide avec une égale vitesse : c'est un fait sur lequel la machine pneumatique ne devait plus laisser aucun doute. Mais Galilée ne put pas s'appuyer sur une expérience aussi concluante. Quand l'expérience lui manquait, il s'aidait de la réflexion. Il considéra donc *la pesanteur comme une force inhérente aux corps et perpétuellement agissante;* il expliqua par là l'accélération des corps tombants. Dès que la pesanteur agit dans le premier instant de sa chute, il n'y a pas de raison pour qu'elle n'agisse pas dans le second instant, dans le troisième, enfin dans tous les instants successifs. La vitesse acquise et la vitesse nouvelle forment une vitesse proportionnelle au temps; de là le mouvement accéléré. Comme la chute

verticale des corps est trop rapide pour qu'un observateur puisse la suivre commodément, Galilée imagina de se servir de *plans inclinés*. En y faisant rouler des corps, il montra que, quelle que fût l'inclinaison des plans, le mouvement s'accélérait constamment; que si, par exemple, l'espace parcouru dans la première seconde est représenté par 1, les espaces parcourus dans la deuxième, dans la troisième, dans la quatrième, etc. seconde, seront numériquement représentés par $2 + 1$, par $(2 + 2) + 1$, par $(2 + 2 + 2) + 1$, etc., *mouvement uniformément accéléré* par 2, exactement exprimé par la série des nombres impairs, 1, 3, 5, 7, etc., qui, additionnés les uns aux autres, donnent la suite des carrés numériques 1, 4, 9, 16, etc. Les *espaces parcourus*, à compter depuis le commencement, sont donc *comme les carrés des temps*. La découverte de cette loi de la chute des corps attira particulièrement sur Galilée l'attention du monde savant.

Adoption du système de Copernic.

Le système de Ptolémée et le système de Copernic divisaient encore les astronomes. Galilée ne fut pas en peine d'apercevoir la futilité des objections qu'on opposait à ce dernier système, objections qui venaient, pour la plupart, d'une ignorance complète des lois de la mécanique. Voyant que le système de Ptolémée avait sans cesse besoin de corrections et d'additions nouvelles, trouvant dans l'apparition de nouvelles étoiles un argument contre la prétendue incorruptibilité des cieux, pour toutes ces raisons-là et pour d'autres, qu'il a indiquées dans ses Dialogues, Galilée adopta le système dont il devait plus tard devenir le martyr. Mais les préjugés religieux et scolastiques étaient si puissants, qu'il continua, par prudence, d'enseigner le système de Ptolé-

mée. Il attendit une occasion plus favorable pour le renverser et lui substituer des faits incontestables. Cette réserve ne l'empêcha pas de passer dans l'université de Pise pour un esprit novateur, très-suspect de révolte contre la Bible et contre Aristote. Entouré d'adversaires déclarés et de beaucoup d'ennemis secrets, il s'empressa d'accepter l'offre que lui fit, en 1592, le sénat de Venise, de venir remplir, pendant six ans, une chaire de mathématiques à l'université de Padoue. Son séjour à Padoue fut l'époque de sa plus grande activité. Il construisit diverses machines pour le service des Vénitiens ; il écrivit un grand nombre de traités sur l'architecture civile et militaire, sur l'astronomie, la gnomonique, etc., que ses élèves répandirent dans tous les pays de l'Europe. Son engagement sexennal fut successivement renouvelé pour la plus grande splendeur de l'université de Padoue.

Première lunette astronomique.

L'année 1609 fut signalée par la construction de la première *lunette astronomique*. On n'est pas d'accord sur le nom de l'inventeur de cet instrument dont l'usage devait commencer une ère nouvelle dans l'histoire de l'astronomie. Les uns en rapportent l'honneur à Jacques Metius, marchand opticien à Alkmaer, les autres à Jansen, lunetier à Middelbourg, d'autres à Jean Lippersheim, de la même ville. Si l'on admet que le Hollandais Jansen et d'autres personnes avant lui avaient construit des lunettes d'approche, il faudra reconnaître que ces instruments n'étaient encore que de simples objets de curiosité ou d'amusement. Ce qu'il y a de certain, c'est que personne, avant Galilée, n'eut l'idée de les appliquer à l'observation des corps célestes.

Voici en quels termes ce grand observateur en a lui-

même rendu compte dans son *Nuncius sidereus.* « Il y a environ dix mois, écrivit-il en mars 1610, que l'on m'apprit qu'un certain Hollandais avait imaginé une lunette (*perspicillum*), à l'aide de laquelle il voyait les objets éloignés aussi clairement que s'ils étaient rapprochés. Cet instrument servait déjà à faire quelques expériences, auxquelles les uns ajoutaient foi, tandis que les autres les niaient. C'est ce qui me fut confirmé peu de jours après dans une lettre que m'adressait de Paris le Français Jacques Badouère. Tout cela enfin me fit appliquer entièrement aux moyens d'arriver à l'invention d'un procédé semblable; et j'y parvins, en effet, peu de temps après, à l'aide de la théorie des réfractions. Je me construisis donc d'abord un tube de plomb, aux extrémités duquel j'adaptai des verres de lunettes, qui avaient tous deux d'un côté une face plane, tandis que de l'autre côté l'un des verres était convexe et l'autre concave (*ambo ex altera parte plana, ex altera vero unum sphericum convexum, alterum vero cavum aptavi*); puis approchant l'œil de la face concave (oculaire), je voyais des objets assez rapprochés : ces objets paraissaient *trois fois plus près* et neuf fois plus grands que par la vue naturelle. Je me suis ensuite fabriqué un instrument plus exact, qui grossissait les objets plus de *soixante fois.* Enfin n'épargnant aucune peine, ni aucune dépense, je suis parvenu à me construire un instrument (*organum*) si excellent qu'il me mit à même de voir les objets mille fois plus grands (*cent fois* le diamètre) qu'à la simple vue. Il serait superflu d'énumérer les avantages que procure l'emploi de cet instrument, tant sur terre que sur mer. Mais laissant là les choses terrestres, j'ai dirigé mes recherches vers le ciel, en commençant par la Lune[1]. »

La lunette, qui grossissait cent fois le diamètre, fut offerte par Galilée au doge Léonard Donato. Le Sénat de Venise, émerveillé de cette invention, le confirma pour

1. *Nuncius sidereus,* p. 8-9.

toute sa vie dans la place de professeur à l'université de Padoue, avec un traitement annuel de mille florins.

Les montagnes de la Lune

En dirigeant le premier une lunette vers les espaces célestes, Galilée y vit ce que nul homme avant lui n'avait aperçu. Ses regards se portèrent d'abord sur la *Lune;* il y vit des montagnes, des taches plus ou moins brillantes, des *cavités circulaires* (cratères), qu'il comparait aux *yeux de la queue du paon*. La ligne qui, dans les différentes phases (à l'exception de la Pleine Lune), sépare la partie éclairée de la partie obscure, lui parut irrégulière, raboteuse; d'où il conclut, contrairment à ce qu'on croyait, que la Lune était loin d'être parfaitement polie et sphérique. Cela étant, comment se fait-il que le contour de la Lune, quand elle est *pleine*, soit si nettement terminé, et qu'il ne présente aucune saillie (montagne), ni anfractuosité (vallée)? A cette question, que Galilée s'était posée à lui-même, il donna deux réponses : ou les montagnes se masquent les unes les autres, ou la Lune est entourée d'une atmosphère lumineuse qui la fait paraître plus grande et mieux terminée qu'elle ne l'est réellement. Les inégalités de la surface sont vivement éclairées du côté qui regarde le Soleil, et ombrées du côté opposé. Un peu en dehors de la ligne qui, dans le croissant ou dans les quartiers, sépare la portion cendrée de la portion éclairée, on distingue les sommets des montagnes : ils se détachent comme des points brillants, tandis que les bassins ou les vallées d'où ils surgissent sont encore plongées dans l'obscurité. Galilée vit là un moyen de mesurer la hauteur de ces montagnes. « J'avais souvent observé, dit-il, que les sommets des montagnes de la portion obscure ou cendrée de la Lune se montraient

comme des points lumineux, bien qu'ils fussent encore *assez distants de la limite de la lumière*. Comparant *cette distance avec le diamètre de l'astre*, je m'assurai qu'elle en marquait quelquefois le vingtième. Cela établi, que l'on trace, par exemple, un globe lunaire, ayant pour grand cercle C A F, pour centre E et pour diamètre C F, qui est au diamètre de la Terre comme 2 est à 7 (fig. 9). Or, le diamètre terrestre étant, d'après des observations assez exactes, de 7000 milles italiens, C F sera = 2000, C E = 1000, et la vingtième partie de C F sera = 100 mil-

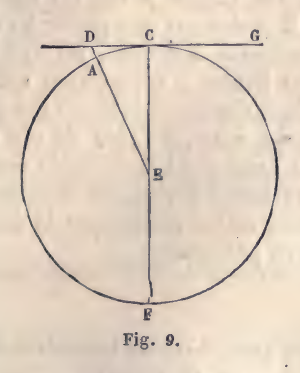


Fig. 9.

le. Maintenant que C F soit le diamètre du grand cercle qui sépare la partie éclairée de la Lune de la partie obscure (dans les premiers et derniers quartiers) ; et que le point A soit éloigné du point C d'un vingtième de ce diamètre ; ensuite que l'on prolonge le demi-diamètre E A jusqu'à ce qu'il rencontre au point D la tangente G C D (représentant le rayon lumineux) : l'arc C A ou la droite C D sera à CE comme 100 est à 1000, et la somme des carrés de C D et C E, soit 1010000, sera égale à la somme du carré D E (carré de l'hypoténuse). Les lignes D E, C D, C E étant ainsi proportionnelles, on trouve, par le développement de la proportion, que A D, sommet d'une

montagne éclairée par le rayon solaire, a quatre milles de hauteur. Or il n'y a sur la Terre aucune montagne qui ait au delà d'un mille de hauteur verticale. Les montagnes lunaires sont donc plus élevées que les montagnes terrestres. »

Quant à la *lumière cendrée* de la Lune, Galilée est d'accord avec Léonard de Vinci et Maestlin, qui en avaient attribué la cause à la lumière de la Terre, « qui se réfléchit sur la Lune et que la Lune nous renvoie par une seconde réflexion. » La vue « des océans, des continents, des montagnes et des vallées, » qui lui apparurent dans la Lune, et dont il comparait une partie à l'aspect de la Bohême (*regio consimilis Bohemiæ*), lui fit supposer que notre satellite est habité : supposition qui irrita la sensibilité dogmatique des théologiens et des péripatéticiens[1].

Galilée observa aussi, à l'aide de son instrument, les *librations* de la Lune par lesquelles de petites portions de l'hémisphère invisible deviennent visibles ; mais l'état de la science d'alors ne lui permit pas de donner la véritable explication de ce phénomène.

Premières observations stellaires faites avec la lunette.

En observant les étoiles, Galilée fut frappé de voir que la lunette ne les grossissait point, ce qu'il attribuait moins à leur éloignement qu'à un effet d'irradiation, ou à leur lumière scintillante. La belle constellation d'Orion et celle des Pléiades fixèrent particulièrement ses regards. Les étoiles de cinquième et sixième grandeur, vues au moyen de sa lunette, lui paraissaient égaler Sirius (vu à l'œil

1. Galilée aurait pu dire, pour se justifier, que cette opinion n'est pas si abominable, puisque, deux siècles avant lui, un prince de l'Église, le cardinal de Cusa, l'avait professée.

nu), qui est de première grandeur. « On ne voit, ajoute-t-il, à la simple vue, que les étoiles qui sont au moins de sixième grandeur ; la lunette me fait voir six autres ordres dont on ne soupçonnait pas l'existence et qui brillent comme des étoiles de seconde grandeur, vues à l'œil nu. » Galilée reconnaît du reste qu'il y a beaucoup d'arbitraire et d'incertitude dans ces comparaisons. Pour preuve de ce qu'il avance, il cite le Beaudrier et l'Épée d'Orion : on n'y comptait que sept étoiles ; armé de sa lunette, il en compta 80 ; on ne comptait que six ou sept étoiles dans les Pléiades : il en marqua plus de 40. La *Voie Lactée* lui parut un assemblage d'innombrables étoiles, une *poussière d'étoiles*, suivant l'expression pittoresque de Milton. Notons en passant que le grand poëte anglais avait conçu la plus haute idée du génie de Galilée qu'il avait vu en Italie, et que son *Paradis perdu* contient de magnifiques allusions aux découvertes du grand astronome.

Observations planétaires faites au moyen de la lunette.

L'attention de Galilée se porta principalement sur les *planètes*. Il commença par *Jupiter*. Quel ne fut pas son étonnement lorsqu'il vit, le 7 janvier 1610, auprès de cette planète, trois étoiles, petites mais très-brillantes, qui étaient situées sur une même ligne droite et sensiblement parallèle à l'orbite de la planète. De ces trois étoiles, deux se trouvaient à l'orient, et l'autre à l'occident de Jupiter. (Voy. ci-dessous la figure 10, donnée par Galilée dans son

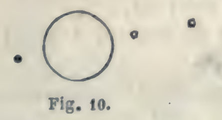


Fig. 10.

Nuncius sidereus, ou Messager des Astres.) Le lendemain

il vit encore trois étoiles, mais elles étaient toutes à l'orient. Le 13 il en vit quatre, une à l'orient et trois à l'occident; le 15, toutes les quatre étaient à l'occident. De ces observations, continuées jusqu'au 12 mars 1610, il conclut que ces étoiles, au nombre de quatre, étaient des *planètes*, et qu'elles étaient pour Jupiter ce que la Lune est pour la Terre, par conséquent des *satellites*. Galilée vit dans l'analogie de ces corps avec notre Lune un argument de plus en faveur du système de Copernic; il comprit aussi quel parti on pouvait en tirer pour déterminer la longitude en mer. Mais il ne put ici indiquer que la voie à suivre.

La brillante découverte des *quatre satellites de Jupiter* excita particulièrement l'envie. Galilée devait s'y attendre. Elle souleva aussi des objections, dont la plupart n'étaient que ridicules. Ainsi, tel adversaire prétendait qu'après avoir regardé par la lunette, il n'avait rien vu de ce qu'annonçait l'auteur du *Messager des Astres*. Tel autre trouvait étrange que la nature eût donné des satellites à Jupiter dans le seul but d'immortaliser la famille des Médicis. (Galilée avait donné à ces astres le nom de *planetæ Mediceæ*, en honneur de son premier protecteur, le grand-duc Ferdinand de Toscane). D'autres enfin, qui avaient d'abord nié la réalité de la découverte, prétendaient avoir trouvé plus de quatre satellites de Jupiter.

Heureusement ces misérables chicanes n'empêchaient pas Galilée de poursuivre ses observations. Après Jupiter, ce fut le tour de *Saturne*. Ne voyant que confusément l'anneau qui entoure cette planète, il nomma Saturne un astre trijumeau, *tricorporeum* ou *tergeminum* et la figura dans son *Nuncius sidereus*.

Il annonça cette découverte dans ce singulier logogriphe:

Smaismrmiclmbpobtalevmibvneuvgttaviras.

Kepler chercha vainement le mot de l'énigme, qui con-

sistait dans une transposition de lettres, fortement emmêlées. Galilée les rétablit dans leur ordre, de manière à former la phrase latine que voici :

Altissimum planetam tergeminum observavi.

(J'ai observé que la planète la plus éloignée est trijumeau.)

Le 11 décembre 1610 il publia un nouveau logogriphe, plus abstrus encore que le premier :

Hæc immatura a me jam frustra leguntur O Y.

La découverte renfermée dans ce dernier logogriphe devait décider une grande question et donner une nouvelle preuve en faveur du véritable système du monde. Le 1er janvier il en donna l'explication suivante :

Cinthiæ figuras æmulatur mater amorum (La mère des amours rivalise avec les figures de Cynthie).

Ces périphrases mythologiques signifient que *Vénus a des phases comme la Lune.* Vénus tourne donc autour du Soleil, ce qui était un argument irréfragable contre Ptolémée et une nouvelle probabilité en faveur de Copernic.

Galilée découvrit les *taches du Soleil,* en avril 1611, presqu'en même temps que Jean Fabricius[1]. Il ne les suivit pas longtemps; mais ses observations lui suffirent pour constater la révolution du Soleil autour d'un axe non perpendiculaire au plan de l'écliptique. Au sujet de cette découverte, Galilée eut une violente polémique avec le jésuite Scheiner, qui, sous le pseudonyme d'*Apelle,* voulut en réclamer la priorité[2].

Ainsi, chacune des découvertes que faisait Galilée le rapprochait du système de Copernic, et donnait à ses enne-

1. Voy. plus loin, p. 398.
2. Toutes les pièces de cette polémique se trouvent réunies dans *Storia e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti* dal signor *Galileo Galilei*, etc., Rome, 1613.

mis de nouveaux motifs d'envie et autant de prétextes de persécution. Tant qu'il resta sur le territoire de la république de Venise (dont Padoue faisait partie), ses ennemis étaient impuissants. Mais au mois d'août 1610 il eut l'imprudence de quitter Padoue et de revenir en Toscane, où il reçut du grand-duc la charge de premier mathématicien de l'université de Pise, sans être astreint d'y résider. En 1611 il se rendit à Rome; c'est dans le jardin Quirinal du cardinal Bandini qu'il montra à plusieurs seigneurs romains les taches du Soleil. Il fut traité avec honneur et admis dans l'académie des *Lincei.*

Procès de Galilée; fin de sa vie.

En se rendant à Rome, Galilée avait pour but d'écarter les soupçons qu'on avait répandus sur son orthodoxie. Mais comme il persista dans ses opinions astronomiques, ses adversaires continuèrent à lui en faire un crime. Les jésuites lui en voulaient surtout de s'être joint au parti qui les avait expulsés de Padoue. L'Inquisition de Rome recevait des plaintes contre lui. Un frère dominicain, Baccini, dans un sermon prêché dans l'église Sainte-Marie-Nouvelle, à Florence, prit pour texte ces mots de l'Évangile : *Viri Galilæi, quid statis adspicientes in cœlum?* attaquant tous les coperniciens et Galilée en particulier.

Galilée écrivit, pour sa justification, une lettre à son élève Castelli et une autre à Christine, grande-duchesse de Toscane; il y repousse avec énergie l'accusation d'avoir voulu attaquer la religion, et cherche à établir que l'objet des Saintes Écritures est d'apprendre aux hommes le chemin du salut et non de leur enseigner l'astronomie. Cette apologie ne parut pas suffisante. L'Inquisition reçut la dénonciation de Baccini et commença les poursuites. Instruit de cela, Galilée repartit pour Rome en

1615 et parvint à imposer silence à ses accusateurs. Cependant ils obtinrent, sinon une condamnation directe de sa personne, du moins avisèrent-ils ses croyances astronomiques. Le 5 mars 1616, la congrégation de l'Index prohiba solennellement les livres de Copernic, de Didacus Astunica et de Foscarini, où est soutenue « cette fausse doctrine pythagoricienne, tout à fait contraire à la divine Écriture, de la mobilité de la Terre et de l'immobilité du Soleil. » Galilée ne fut pas même nommé dans cette sentence, mais il avait secrètement reçu une admonestation[1].

Vaines entraves d'une autorité aveugle ! La vérité s'impose au génie. Galilée fut ramené vers les idées mises à l'index par l'apparition de *trois comètes* en 1618, comme si le ciel lui-même eût voulu s'intéresser à cette querelle. Il aurait pu laisser aux ouvrages de Copernic et de Kepler le soin de convertir au véritable système du monde les partisans obstinés de Ptolémée. Mais entraîné par cet esprit de controverse qui, dans sa jeunesse, le portait à disputer contre ses professeurs péripatéticiens, il revint, par l'emploi d'un artifice, au sujet interdit. Il supposa des *Dialogues* entre trois personnages, Salviati, Sagredo, Simplicio, sur le meilleur système du monde ; les deux premiers

1. Ce qui prouve qu'il avait reçu un premier avertissement comminatoire, c'est ce passage de la condamnation formelle, qui fut plus tard prononcée contre lui : « Comme il nous plaisait de procéder envers toi avec bénignité, il a été arrêté dans la sainte Congrégation, tenue en présence de N. S. le 25 février 1616, que le très-éminent seigneur cardinal Bellarmin t'enjoindrait de quitter entièrement la dite fausse doctrine ; de ne l'enseigner ni à d'autres, ni de la défendre, ni d'en jamais traiter, et faute d'acquiescer à cette injonction, tu serais jeté en prison ; et pour l'exécution de cet arrêté, le jour suivant, dans le palais, en présence du dit cardinal Bellarmin, après avoir été bénignement admonesté par lui, tu as reçu du commissaire du Saint-Office, en présence d'un notaire et de témoins, l'injonction de te désister entièrement de la dite opinion fausse, et ayant promis obéissance, tu as été renvoyé. »

sont coperniciens, le dernier défend Ptolémée. L'auteur ne se prononce pour aucun des trois ; mais il ne met pas les meilleurs arguments dans la bouche de Simplicio. En tête de ces *Dialogues* se trouve une préface où Galilée expose que « quelques années auparavant on avait promulgué à Rome un édit salutaire qui, pour remédier aux scandales, imposait silence à l'opinion pythagoricienne du mouvement de la Terre ; que quelques téméraires cependant avaient osé dire que ce décret n'avait pas été rendu en connaissance de cause, qu'il était l'ouvrage de la passion et non d'un examen judicieux ; enfin, que des consulteurs tout à fait ignorants en astronomie n'auraient pas dû couper ainsi les ailes au génie des philosophes qui se livrent à ces méditations. »

Après avoir terminé son ouvrage, Galilée se rendit à Rome, en 1630, pour le faire approuver par le pape. Urbain VIII l'accueillit avec une bienveillance extrême et lui accorda sans peine l'approbation demandée. Galilée, qui avait atteint son but, repartit pour Florence. De là il écrivit au prélat examinateur pour obtenir la permission d'imprimer son livre à Florence ; le prélat fit des difficultés et n'accorda pas la permission demandée. Galilée s'en passa, et il fit alors paraître ses *Dialoghi sopra i due massimi sistemi del mondo*, *Tolemaïco e Copernicano;* Florence, 1632, in-4° (traduit en latin par Bornegger, sous le titre de : *Systema Cosmicum;* Strasbourg, 1635, in-4°). Les passions religieuses et scolastiques se ranimèrent. Le pape, qui avait souvent causé d'astronomie avec Galilée, crut se reconnaître dans *Simplicio*, défenseur quelquefois ridicule et toujours malheureux du système de Ptolémée. Irrité contre le savant, il l'abandonna à l'Inquisition. Galilée fut sommé de comparaître devant ce tribunal, et, malgré son grand âge et ses infirmités, il dut se rendre à Rome. Alors s'engagea, pendant qu'une partie de l'Europe était mise à feu et à sang par les guerres de religion, un procès mémorable, dont les prin-

cipales pièces se trouvent dans l'*Almageste* de Riccioli et dans une lettre de Galilée à Renieri, conservée par Tiraboschi[1].

A son arrivée à Rome, Galilée fut mis aux arrêts dans le palais de l'ambassadeur de Toscane. Le lendemain il fut conduit en carrosse au palais du Saint-Office, où il fut poliment invité (c'est lui-même qui le raconte) à produire ses raisons en pleine congrégation, après avoir été averti que, dans le cas où il serait jugé coupable, il serait admis à faire valoir ses excuses. « Mais, pour mon malheur, dit-il, mes preuves ne furent point entendues, et, quelque peine que je me donnasse, je n'eus point l'habileté de me faire comprendre. On m'interrompait avec de grands élans de zèle pour me convaincre de scandale, et ce passage de l'Écriture, *Terra autem in æternum stabit quia in æternum stat*, m'était toujours allégué comme la preuve invincible de mon délit. »

Après cette espèce d'interrogatoire, Galilée fut détenu pendant une vingtaine de jours dans les appartements du fiscal de l'Inquisition. Le 1er mai on le ramena au palais de l'ambassadeur, et on lui permit de sortir. Le 22 juin il fut conduit de nouveau devant le Saint-Office, où on lui signifia sa sentence. Après un exposé long et déclamatoire, dont un passage[2] a fait croire que Galilée avait été mis à la torture, le tribunal conclut en ces termes :

« Nous disons, prononçons, jugeons et déclarons que toi, Galilée susdit, pour les causes détaillées au procès écrit, et que tu as confessées ci-dessus, tu t'es véhémentement rendu suspect, au Saint-Office, d'hérésie, en ce que tu as cru et soutenu la doctrine fausse et contraire aux divines Écritures, que le Soleil est le centre de l'orbite de la

1. Voyez l'article *Galilée*, dans la *Biographie générale* (t. XIX, p. 263).

2. Voici ce passage : « Et comme il nous a paru que tu ne disais pas toute la vérité, nous avons jugé nécessaire d'en venir à un *examen rigoureux* de ta personne, etc. »

Terre; qu'il ne se meut pas d'orient en occident; que la Terre se meut et qu'elle n'est pas le centre du monde, et qu'une opinion ne peut être soutenue et défendue comme probable après qu'elle a été déclarée et définie contraire à la Sainte Écriture; en conséquence, que tu as encouru toutes les censures et peines statuées et promulguées par les sacrés canons et autres constitutions générales et particulières contre les délinquants de cette sorte; desquelles il nous plaît que tu sois absous, pourvu que préalablement, d'un cœur sincère et d'une foi non feinte, tu abjures devant nous, tu maudisses et détestes les susdites erreurs et hérésies, et toute autre erreur et hérésie contraires à l'Église catholique, apostolique et romaine, suivant la formule qui te sera présentée par nous. Cependant, pour que cette grave et pernicieuse erreur et transgression de ta part ne reste pas tout à fait impunie, et que tu deviennes désormais plus circonspect, et pour que tu sois un exemple aux autres, afin qu'ils s'abstiennent de pareils délits, nous décrétons que le livre (les *Dialogues*) de Galileo Galilei sera prohibé par un édit public, et nous te condamnons à la prison formelle de ce Saint-Office, pour un temps que nous limiterons à notre volonté; et, à titre de pénitence salutaire, nous ordonnons que pendant trois années à venir tu récites les sept psaumes pénitentiaux, nous réservant le pouvoir de modérer, de changer ou de remettre en tout ou en partie les susdites peines et pénitences. Ainsi nous prononçons, nous, cardinaux soussignés, F. d'Ascoli, Bentivoglio, F. de Crémone, Saint-Onufre, Gypsius, Varospi, Ginetti. »

En conséquence, Galilée prononça son abjuration solennelle, à genoux, dans le couvent de Minerve, le 22 juin 1633. On raconte qu'en se relevant il frappa du pied la terre et dit à demi-voix : *E pur si muove!* (et pourtant elle se meut!)

Aussitôt après son abjuration, Galilée put retourner au palais de l'ambassadeur de Toscane. Il alla ensuite séjourner à Sienne, auprès de celui qu'il appelle le plus cher de ses amis, Piccolomini, archevêque de cette ville. En décembre 1633, il obtint du pape la permission d'habiter les environs de Florence et vint plus tard s'établir dans cette ville même, où il reçut, en 1638, la visite du grand-duc.

Dans sa vieillesse, Galilée eut à supporter de cruelles épreuves. Peu de temps après son procès, il perdit (en avril 1634) une de ses filles. En 1636, il devint complétement aveugle; il venait de terminer son Traité de méca-

nique. N'osant plus rien publier dans sa patrie, il en remit le manuscrit au comte de Noailles, ambassadeur de France, qui le fit imprimer en Hollande (*Discorsi e dimostrazioni matematiche attenenti alla mecanica ed i movimenti locali*; Leyde, 1638, in-4°). Malgré sa cécité et ses autres infirmités, il s'occupait d'une suite de ses *Dialogues sur le mouvement*, lorsqu'il fut pris de battements de cœur, et mourut, après deux mois de maladie, à Arcetri, près de Florence, le 8 janvier 1642, à l'âge de soixante-dix-huit ans moins un mois.

Galilée avait adopté la langue italienne, comme plus propre que la langue latine à populariser ses travaux[1]. Peut-être dut-il en partie à cela les odieuses persécutions auxquelles avait échappé l'immortel auteur du *De revolutionibus orbium cœlestium*, Copernic.

1. Les *Œuvres* de Galilée furent pour la première fois recueillies par Ch. Manolessi; Bologne, 1656, in-4°; elles ont été augmentées d'écrits, jusqu'alors inédits, dans l'édition de Florence, 1718, 3 vol. in-4°, dans celle de Padoue, 1744, 4 vol. in-4°, et surtout dans celle de Milan, 1808, 13 vol. in-8°. L'édition la plus complète a été commencée en 1842 à Florence.

CHAPITRE VI

ADVERSAIRES DE COPERNIC, DE KEPLER ET DE GALILÉE : RICCIOLI, SCHEINER, LONGOMONTANUS, LICETI, BOUILLAUD, DEUSING, MORIN, SCHYRLE, ARGOLI, ETC

La condamnation de Galilée n'empêcha pas la science de marcher. Mais elle eut pour effet d'arrêter dans la voie du progrès beaucoup d'esprits timorés ou indécis ; et dans ce nombre on est affligé de voir le nom de *Descartes*. Ce grand géomètre, dont nous analysons les travaux dans notre *Histoire des mathématiques*, s'était épris de l'étude de l'astronomie pendant son séjour en Hollande, et il allait, en 1633, mettre au jour un *Traité du monde*, lorsqu'il apprit la condamnation de Galilée. Cette condamnation lui fit abandonner l'impression du traité où il devait, lui aussi, affirmer le mouvement de la Terre. Sa correspondance avec le P. Mersenne ne laisse malheureusement aucun doute sur la défaillance de l'auteur du *Discours de la méthode*. « Je m'étais proposé, dit Descartes dans une de ses lettres, de vous envoyer mon *Monde* pour vos étrennes ; il n'y a pas plus de quinze jours que j'étais encore tout résolu de vous en envoyer au moins une partie, si le tout ne pouvait être transcrit pour ce temps-là. Mais je vous dirai que, m'étant fait enquérir ces jours passés à Leyde

et à Amsterdam si le *Système du monde* (les *Dialogues*) de Galilée ne s'y trouverait point, parce que j'avais appris qu'il avait été imprimé en Italie l'année dernière, on m'a mandé qu'il était vrai que le livre avait été imprimé, mais que tous les exemplaires en avaient été brûlés à Rome dans le même temps, et l'auteur condamné à quelque amende ; ce qui m'a si fort étonné, que je me suis presque résolu de brûler tous mes papiers, ou du moins de ne les laisser voir à personne. Car je n'ai pu m'imaginer qu'un homme qui est Italien et, qui plus est, très-bien venu du pape, à ce que j'apprends, ait pu être *criminalizé* pour autre chose que parce qu'il aura voulu établir le mouvement de la Terre, que je sais avoir été contesté autrefois par quelques cardinaux. Mais je croyais avoir ouï dire que depuis ce temps-là on ne laissait pas de l'enseigner publiquement, même dans Rome ; et *j'avoue que si ce sentiment du mouvement de la Terre est faux, tous les fondements de ma philosophie le sont aussi, parce qu'il se démontre par eux évidemment;* il est tellement lié avec toutes les parties de mon Traité, que je ne l'en saurais détacher sans rendre le reste tout défectueux. Mais, *comme je ne voudrais pour rien au monde qu'il sortît de moi un discours où il se trouvât le moindre mot qui fût désapprouvé par l'Église*, aussi aimé-je mieux le supprimer que de le faire paraître estropié [1]. »

On voit avec peine que Descartes n'eut pas le courage de ses idées.

En tête des anticoperniciens se trouve le *P. Riccioli* (né à Ferrare en 1598, mort à Bologne en 1671). Ce jésuite passionné composa un gros ouvrage, moins par l'amour de l'astronomie que par l'envie de plaider la cause des théologiens contre Copernic et Galilée. Cet ouvrage, qui contient (t. II, liv. IX) l'arrêt qui condamna Galilée, a pour titre : *Almagestum Novum, astronomiam veterem novamque*

1. *Lettre* de Descartes au P. Mersenne, en date du 20 novembre 1633.

complectens; etc. (Bologne, 1651, 2 vol. in-fol.). A la fin du second volume, l'auteur a développé, dans une série de chapitres (*De systemate Terræ motæ*), tous les arguments qu'on avait imaginés pour combattre le système de Copernic. Ces arguments sont au nombre de plus de cent. Mais s'ils sont imposants par leur quantité, ils ne brillent point par leur valeur.

Voici les principales objections qui furent faites contre le système qui a fini par triompher.

« Si l'univers se meut, disait Copernic, comment la Terre seule peut-elle échapper à ce mouvement? »

Riccioli répond « que l'éther est si subtil qu'il ne peut communiquer aucun mouvement à la Terre, et que la Terre est si massive qu'elle reste nécessairement en place. »

« La Terre n'est qu'un point, comparativement à l'immensité de la sphère des étoiles. »

A cet argument de Copernic, déjà connu des anciens, Riccioli répond « que l'homme est le roi de la nature, que c'est pour lui que Dieu a ordonné ce magnifique spectacle. »

« Le mouvement sera plus facile, si le mobile est plus petit, » disaient les coperniciens.

A cela Riccioli répond par : « Dieu est grand! »

« L'invariabilité des distances relatives des étoiles est incompatible, disaient les coperniciens, avec le mouvement diurne du ciel. »

Riccioli peuple les étoiles d'intelligences célestes, chargées d'imprimer et de diriger ce mouvement.

« Le Soleil occupe, disaient les coperniciens, le centre du système planétaire. »

A cela Riccioli se contente de répondre « que le Soleil n'occupe pas le centre de l'orbite lunaire. »

« Le Soleil est la source du mouvement. »

Cet argument, proposé par Kepler, Riccioli l'écarte par des arguties.

« Le mouvement de la Terre supprime les épicycles des planètes supérieures. »

Tout en reconnaissant la force de cet argument, Riccioli se contente de lui opposer Tycho et l'Écriture.

Après s'être fait accroire à lui-même qu'il a réfuté tous les arguments de Copernic, Riccioli prétend prouver directement que la Terre est immobile. A cet effet, il commence par rappeler les objections de Ptolémée sur le vol des oiseaux, sur le mouvement des nuages, etc. ; puis il ajoute avec un imperturbable esprit dogmatique : « La Terre est de tous les corps le plus grave. L'éclipse de Soleil, à la mort de Jésus-Christ, fut totale pendant trois heures, l'Évangile le dit. Si la Terre tournait, l'éclipse aurait duré beaucoup moins. »

Les autres objections sont à l'avenant.

« Au reste, dit Riccioli, il n'est pas encore de foi que le Soleil tourne autour de la Terre immobile. Il faudrait pour cela un bref du pape ou le décret d'un concile. » — Mais pourquoi alors, nous le demandons, le tribunal de l'Inquisition avait-il condamné Galilée comme suspect d'hérésie?

Le *P. Scheiner* (né en 1575 à Wald, en Souabe, mort en 1650 à Neiss, en Silésie) professa successivement les mathématiques à Ingolstadt, à Graetz et à Rome. Il écrivit tout un volume (*De controversiis et novitatibus mathematicis;* Ingolstadt, 1614, in-4°), aujourd'hui oublié, pour défendre l'immobilité de la Terre contre Copernic, Kepler et Galilée. Son principal mérite est d'avoir inventé le *pantographe*, instrument fort utile aux artistes, dont il a décrit la construction et les usages dans *Pantographice, seu ars delineandi* (Rome, 1631, in-4°). On s'en sert encore pour copier un dessin quelconque, pour en augmenter ou réduire les dimensions, sans savoir même dessiner. Nous parlerons plus loin de ses observations des taches du Soleil.

Longomontanus (Christian-Severin), né en 1562 à Laensberg, en Danemark, mort en 1647 à Copenhague, fut

ami et collaborateur de Tycho, dont il défendit le système contre les coperniciens, dans son *Astronomia danica* (Amsterdam, 1622, in-4°). Il va jusqu'à se faire le champion de la fausse théorie de Tycho sur les réfractions, qui seraient nulles au-dessus de 45° de hauteur. Il n'admet pas la loi de Kepler, d'après laquelle les planètes décrivent des ellipses, et il croit que la Voie Lactée est en partie composée d'une certaine matière propre à donner naissance aux comètes. Il observa particulièrement la comète qui parut en 1618, au commencement de la guerre de Trente ans, et qu'il appelle *stupendum et fatalem;* sa queue, qui n'était d'abord que de la taille d'un homme, grandit si rapidement, que le 30 novembre elle occupait dans le ciel un espace de 104 degrés (plus de la moitié de l'hémisphère céleste).

Liceti (Fortunio), né à Gênes en 1577, mort en 1656, essaya, dans son traité *De novis astris et cometis* (Gênes, 1623), de concilier l'astronomie moderne avec la doctrine d'Aristote, deux choses aussi inconciliables que la vérité et l'erreur. Contrairement aux opinions de Maestlin, de Léonard de Vinci et de Galilée, il n'admettait pas que la lumière cendrée de la Lune fût produite par la lumière réfléchie de la Terre ; « parce que, dit-il, la Terre est impropre à réfléchir la lumière. » Mais il n'en donna aucune raison plausible dans son *De Lunæ subobscura luce*, etc. Udine, 1642.

Gerhard *Muti*, horloger de Francfort-sur-le-Mein, auteur de l'*Horloge astronomico-géographique* (1673), supposait les étoiles en repos, tout en faisant tourner tout le reste du ciel d'occident en orient.

Ismaël *Bouillaud*, plus connu sous le nom latinisé de *Bulliarius*, né à Loudun en 1605, mort à Paris en 1694, élevé dans la religion protestante, visita une partie de

l'Europe, voyagea dans le Levant, et se retira dans l'abbaye de Saint-Victor après s'être converti au catholicisme. Malgré le titre de son principal ouvrage, *Astronomia Philolaïca, opus novum, in quo motus planetarum per novam ac veram hypothesim demonstratur*, etc., Paris, 1645, in-folio, l'auteur resta attaché au mouvement uniforme et circulaire des anciens. Il adopta, il est vrai, les orbites elliptiques des planètes; mais pour sauver les mouvements moyens, qu'il regardait, contrairement à Kepler, comme réels, il supposait, avec Albert Curtius, que les planètes se mouvaient inégalement autour du foyer qu'occupe le Soleil, et uniformément autour du second foyer. Ce second foyer rappelait le centre de l'*équant* de Ptolémée. On sait qu'en coupant un cône suivant une certaine inclinaison à l'axe, on a une ellipse par le contour de la section. Or Bouillaud imagina une section telle que l'un des foyers de l'ellipse, celui autour duquel le mouvement est égal, se trouve dans cet axe. Il suit de là que, quelle que soit l'inégalité de la marche d'une planète dans son orbite elliptique, un œil placé au sommet du cône, au terme de l'axe autour duquel les mouvements sont uniformes, voyant cette orbite de côté, rapporterait tous ces mouvements dans la base circulaire du cône et les verrait s'accomplir uniformément dans un cercle.

Tel est ce que Bouillaud appelle son *Hypothesis nova et vera*. Cette singulière hypothèse a inspiré à Bailly les réflexions suivantes : « L'espèce humaine, prise en masse depuis son origine, est attachée aux idées de sa jeunesse.... Ni Bouillaud, ni Riccioli n'entendaient Kepler. Ils ne parlent point des aires décrites autour du foyer et proportionnelles au temps. C'est donc en vain qu'on découvre des vérités ; on parle à ses contemporains, ils n'écoutent pas[1]. » — Cette réflexion ne sera toujours, hélas ! que trop vraie.

1. Bailly, *Hist. de l'Astronomie moderne*, t. II, p. 210-211.

En expliquant les principales inégalités de la Lune, Bouillaud se mit en contradiction avec Kepler. Ainsi, il suppose que le foyer de l'orbite lunaire, où est placée la Terre, se dérange pour décrire un certain circuit par lequel le foyer et le centre de l'ellipse se déplacent. Par suite de cette altération de la courbe, la Lune ne resterait pas constamment au foyer de l'ellipse de la Terre, comme le Soleil au foyer des ellipses des planètes.

Ces idées de Bouillaud provoquèrent une vive polémique de la part d'un astronome anglais, *Seth-Ward*, auteur de l'*Astronomia geometrica*, *qua primariorum planetarum astronomia sive elliptica*, *sive circularis possit geometrice absolvi*, etc.; Lond., 1656. Cette polémique, à propos d'un système faux, n'offre aucun intérêt.

Antoine *Deusing* (né à Meurs en 1612, mort en 1666), qui professa les mathématiques à Harderwyk et la médecine à Groningue, se proposa, dans son *De vero systemate mundi dissertatio mathematica* (Amsterdam, 1643), de replacer la Terre au centre du monde et de faire disparaître toute la complication du système de Ptolémée. De ses démonstrations prolixes, il conclut que ce n'est guère la peine de faire mouvoir la Terre et de placer les étoiles à une si grande distance. « Nous dirons à notre tour, ajoute Delambre, que ce n'est pas trop la peine, après toutes les concessions que l'auteur fait à Copernic, et toutes les explications qu'il lui emprunte, de supprimer le mouvement annuel [1]. »

Jean-Baptiste *Morin* (né à Villefranche en 1583, mort en 1656 à Paris) s'adonna à l'astrologie, ce qui le mit en rapport avec de grands personnages, et succéda, en 1630, à Sinclair, dans la chaire de mathématiques, au collége Royal de France. Adversaire déclaré du système de Coper-

1. Delambre, *Hist. de l'Astronomie moderne*, t. II, p. 146.

nic, il soutenait, avec une vivacité extrême, contre Gassendi et Bernier, l'immobilité de la Terre, dans son *Famosi problematis de telluris motu vel quiete hactenus optata solutio*; Paris, 1631, in-4°. Cet écrit provoqua de vives critiques. Morin y répondit par *Responsio pro telluris motu* (1634), et par *Tycho-Braheus in Philolaum pro telluris quiete* (1642). Gassendi entra en lice, suivi de près par ses amis Bernier et Laurent de Mesmes; la discussion dégénéra en une querelle violente, qui fit beaucoup de bruit. Poussé dans ses derniers retranchements, Morin lança contre Gassendi un grand nombre de diatribes, telles que *Ala telluris fracta* (1643); *De atomis et vacuo* (1650); *Panurgi Epistola de tribus impostoribus* (1654), etc.

Morin suscita une querelle non moins vive au sujet de la *détermination des longitudes*. Mais cette fois ses adversaires (parmi lesquels on remarque Mydorge et Beaugrand) eurent les torts de leur côté. La méthode de Morin consistait à observer en même temps ou dans des temps très-rapprochés la hauteur de la Lune, celle d'une étoile dont la position était suffisamment connue, ainsi que la distance de l'une à l'autre. « Au moyen de ces éléments, ajoute Montucla, il montrait comment, à une heure quelconque, en mer, on pouvait déterminer la déclinaison et l'ascension droite de la Lune, conséquemment sa latitude et sa longitude, ou son lieu dans le ciel. Il fallait calculer ensuite, d'après les meilleures tables, celles de Kepler par exemple, l'heure à laquelle la Lune avait cette même position dans le ciel, pour le lieu auquel ces Tables étaient destinées, et dont la longitude était connue. La différence des temps convertie en degrés devait donner la longitude du vaisseau pour le moment de l'observation[1] »

L'ouvrage où Morin a exposé sa méthode a pour titre : *Astronomia jam a fundamentis integra restituta, complectens IX partes hactenus optatæ scientiæ longitudinum cœ-*

1. Montucla, *Histoire des Mathématiques*, t. IV, p. 544.

lestium; Paris, 1640, in-4°. En 1634, le cardinal Richelieu, qui protégeait Morin, nomma une commission de savants pour examiner sa méthode des longitudes. Les commissaires rendirent d'abord un rapport favorable; puis ils se ravisèrent, et, dans un nouveau rapport, ils traitèrent Morin avec une sévérité regrettable. Ce qu'il y a de certain, c'est que sa méthode laisse beaucoup à désirer, et qu'il est loin d'avoir résolu le problème qu'il s'était proposé.

Le *P. Schyrle de Rheita* (né en 1597 en Bohême, mort à Ravenne en 1660), de l'ordre des capucins, fut un anti-copernicien décidé. Dans la Préface de son livre qui porte le singulier titre de *Oculus Enoch et Eliæ, sive Radius sidero-mysticus* (Anvers, 1645, avec une dédicace à Jésus-Christ, et une autre à l'empereur Ferdinand III), il déclare hardiment « qu'après avoir longtemps médité sur les systèmes de Ptolémée, de Copernic, de Tycho et d'autres astronomes, il s'est convaincu que tous ont avancé des choses superflues, déplaisantes et peu conformes aux phénomènes. » Il s'est borné à retourner le système de Tycho, à peu près comme Tycho avait retourné celui de Copernic; en supprimant les épicycles, il les remplace par des *hypocycles;* au lieu de faire tourner sur l'excentrique le centre d'un petit épycicle, il fait tourner le cercle de l'excentrique sur la circonférence d'un petit cercle auquel il ne donne pas de nom. Toutes ces hypothèses ne sont accompagnées d'aucune démonstration, ni d'aucun calcul. Il faut les mettre sur la même ligne que ses *Huit satellites de Jupiter*, qu'il dédia au pape Urbain VIII, sous le nom d'*Astres Urbanoctaviens*.

Voici cependant quelques idées qui méritent d'être signalées. Schyrle pense que les étoiles ont des mouvements propres que l'énormité de leur distance nous empêche de distinguer; que les étoiles *changeantes* ou *périodiques* pourraient bien avoir de grandes orbites et de longues révolutions; enfin, que dans le système de Copernic

la chaleur devrait être proportionnelle au rayon du parallèle terrestre ; elle serait absolument nulle aux pôles, où le parallèle se réduit à un point ; car, ajoute-t-il, c'est *le mouvement qui produit la chaleur*.

Schyrle construisit le premier une lunette astronomique d'après les données de Kepler. Les termes d'*oculaire* et d'*objectif*, appliqués aux deux verres dont le dernier est tourné vers l'objet et le premier vers l'œil de l'observateur, viennent de lui. Il raconte qu'en 1642 il vit, à Cologne, passer devant le Soleil une troupe (*turmam*) d'étoiles filantes qui se succédèrent pendant quatorze jours, et que l'éclat du Soleil en était considérablement affaibli.

Le *passage d'étoiles filantes* ou *d'astéroïdes devant le disque du soleil* n'est pas un phénomène rare. Ainsi en 1547, vers l'époque de la bataille de Mühlberg, on vit l'astre radieux s'obscurcir au point de laisser apercevoir les étoiles en plein midi. Ce phénomène, qui dura trois jours, ne put s'expliquer ni par des brouillards, ni par des cendres volcaniques. Kepler, qui voulut en chercher la cause, l'attribua à l'interposition d'une matière cométaire, *materia cometica*. Des obscurcissements semblables, observés déjà en 1090 et 1208, le premier durant trois heures, le second durant six heures, ont été attribués par Chladni et Schnurrer au passage de masses météoriques. Schyrle de Rheita a, le premier, attribué ces phénomènes à l'interposition de petites étoiles ou *astéroïdes*, et c'est l'hypothèse qui a prévalu.

Ce capucin astronome n'est pas éloigné de croire que les planètes sont habitées. « Si Jupiter a, dit-il, des habitants, ils doivent être plus grands et plus beaux que les habitants de la Terre, dans la proportion des deux globes. » Mais il n'ose affirmer leur existence, à cause de certaines difficultés théologiques ; il se demande, par exemple, s'ils ont su se maintenir dans leur état primitif d'innocence, ou s'ils sont déchus comme nous.

C'est dans son *Oculus Enoch*, à propos de son binocle

astronomique (*oculus astronomicus*), qui était une lunette à deux oculaires, que Schyrle de Rheita rapporte, le premier, l'histoire de Jean Lippens de Zélande, qui, ayant par hasard combiné un verre convexe avec un verre concave, vit les objets à la fois plus gros et plus rapprochés. Avec ces deux lentilles placées dans un tube, il faisait voir aux passants le coq du clocher. Le bruit de cette invention s'étant répandu, les curieux venaient en foule pour admirer ce prodige. Le marquis de Spinola acheta la lunette et en fit présent à l'archiduc Albert d'Autriche. Les magistrats de la localité mandèrent l'opticien et lui payèrent chèrement une lunette pareille, mais à la condition qu'il en garderait le secret. C'est ainsi que l'invention fut tenue secrète jusqu'au moment où Galilée en eut connaissance. Tel est le récit de Schyrle de Rheita. — Nous ne dirons rien de sa *Theo-astronomia*, *opus theologis utile et jucundum*, dédiée à la Vierge Marie. Delambre l'appelle, en propres termes, une *capucinade*.

Andolo *Argoli* (né en 1570 à Tagliacozzo, mort vers 1650, professeur à Padoue) se posa, dans son *Pandorium sphæricum* (Padoue, 1644), comme l'auteur d'un système qui a beaucoup d'analogie avec celui qu'on trouve dans Vitruve et Martianus Capella. D'après ce système, la Terre occuperait le centre du Monde ; la Lune et le Soleil, ainsi que les trois planètes supérieures (Mars, Jupiter et Saturne) tourneraient autour de la Terre, tandis que le Soleil aurait pour satellites les deux planètes inférieures (Mercure et Vénus). — On cite d'Argoli, comme une chose très-remarquable, qu'il avait réduit toutes les opérations trigonométriques à une simple addition, et cela dix ans (en 1604) avant la découverte des logarithmes.

Levera, auteur du *Prodromus universæ astronomiæ restitutæ* (Rome, 1663, dédié à la reine Christine de Suède), enseignait, contrairement à tout ce qui avait été établi

par Kepler, que tous les mouvements des corps célestes sont circulaires et uniformes, que l'année solaire a invariablement la même durée, et que l'apogée reste immobile. Il se montre aussi grand partisan de l'immobilité de la Terre.

Le P. Jacques *de Billy* rejette, dans son *Opus astronomicum*, les lois de Kepler et se montre attaché à l'ancien système. Il ne donne de cette préférence aucune raison valable.

Il serait inutile de continuer l'énumération, beaucoup trop longue, des adversaires de Copernic, de Kepler et de Galilée. Ce que nous avons dit suffit pour montrer une fois de plus que la vérité n'est jamais admise universellement dès son apparition.

Les taches du Soleil.

C'est vainement que le P. Scheiner se donna beaucoup de peine pour revendiquer contre Galilée la priorité de la découverte des taches du Soleil. Ce savant jésuite parla pour la première fois, dans une lettre adressée le 12 novembre 1611 à Marc Velser, sénateur d'Augsbourg, de *taches noirâtres*, qu'il prenait d'abord pour *non adhérentes* au Soleil, ou pour de petites planètes. Or Galilée, qui les avait observées en avril 1611, regardait ces taches comme adhérentes au Soleil. Il est vrai que dans la même lettre du 12 novembre le P. Scheiner dit qu'il les *avait aperçues sept à huit mois auparavant*, et qu'il y avait d'abord fait peu attention. Mais pourquoi s'est-il ravisé si tard pour en écrire à ses amis [1]? Et pourquoi avait-il pris un pseudonyme dans la dissertation qu'il fit imprimer en 1612 à Augsbourg sous le titre de : *De Maculis in Sole animad-*

1. La correspondance du P. Scheiner sur ce sujet ne parut qu'en 1613 à Rome, sous le titre *De Maculis solaribus tres epistolæ; de iisdem circa Jovem errantibus disquisitio.*

versis et tanquam ab Apelle in Tabula spectandum in publica luce expositis Batavis dissertatiuncula[1] ? Dans cette dissertation on trouve indiqué l'emploi des verres bleus pour regarder le Soleil ; ce moyen avait été déjà recommandé par Apian. Du reste, l'auteur revint sur l'observation des taches du Soleil, distingua les taches des *facules*, et en fit, avec un zèle louable, l'objet d'observations multipliées, comme l'atteste sa *Rosa Ursina, sive Sol ex admirando faculorum et macularum suarum*, etc. (Bracciano, 1626, in-fol.).

Si les questions de priorité, où les sentiments de l'amour-propre jouent un si grand rôle, ne sauraient être résolues que par des documents *imprimés* ayant date certaine, l'astronome qui découvrit les taches du Soleil et leur mouvement concomitant avec la rotation de cet astre, ce n'est ni Galilée ni Scheiner, c'est Jean *Fabricius*. L'écrit où Fabricius rend compte de sa découverte parut au mois de juin 1611 à Wittemberg, sous le titre : *De maculis in Sole visis et earum cum Sole revolutione narratio* (in-4°). La date de l'impression de cet écrit reporte celle de la découverte au moins à la fin de 1610 ou au commencement de 1611.

Kepler ne pouvait pas rester étranger à la question des taches solaires. Voici, en effet, ce qu'il écrivit, dès 1613, au P. Malcot : « Non-seulement les taches ne se meuvent pas parallèlement à l'écliptique, mais elles n'ont pas toutes exactement la même vitesse. Conséquemment elles ne tiennent pas à la surface du Soleil, sans en être pourtant séparées par un intervalle sensible. Par ces raisons et parce que ces taches tantôt apparaissent sur le Soleil,

1. Le P. Scheiner prit un pseudonyme probablement pour ne pas heurter l'idée aristotélique de l'incorruptibilité des cieux. On raconte qu'ayant demandé au provincial de son ordre, au P. Budée, l'autorisation de publier ses découvertes, celui-ci lui aurait dit : « Bah ! j'ai lu et relu Aristote, et je n'y ai rien trouvé de pareil. Tranquillisez-vous, mon fils, il n'y a de taches dans le Soleil que celles qu'y mettent vos yeux ou les verres de votre nouvel instrument. »

tantôt s'évanouissent, qu'elles s'étendent et se raréfient çà et là en changeant sensiblement de figure, il est aisé de conclure qu'elles doivent être quelque chose d'analogue aux nuages de notre propre globe terrestre, nuages qui ont dans l'atmosphère un mouvement particulier, différant plus ou moins de la rotation terrestre. Ces fumées opaques sortent-elles des corps incandescents du Soleil? Dieu seul le sait; car le raisonnement par analogie ne peut pas s'étendre jusque-là avec sécurité. » — M. Faye (*Annuaire du Bureau des longitudes* pour l'an 1873, p. 453) fait remarquer avec justesse que ce passage de Kepler contient le fond même des idées qui ont eu un instant le plus de crédit auprès d'un grand nombre de nos contemporains sur la nature et le rôle des taches solaires.

L'observation des taches du Soleil fut continuée par *Tarde* et *Malapertuis*. L'un et l'autre les prenaient pour de véritables planètes. Le premier, chanoine de Sarlat, les appelait *Astres bourboniens* (*Borbonia sidera, id est planetæ qui Solis lumina circumvolitant motu proprio et regulari, falso hactenus ab helioscopis maculæ Solis nuncupati;* Paris, 1620). Le second, jésuite belge, les nommait *Astres austriens*, les considérant aussi comme de petites planètes, très-voisines du Soleil (*Austriaca sidera heliocyclica astronomicis hypothesibus illigata;* 1633). Il se servait, comme le P. Scheiner, d'un fil à plomb pour marquer le vertical du Soleil.

Plus tard, le *P. Kircher* (né en 1602 à Geisa, près de Fulda, mort à Rome en 1680), qui a écrit sur presque toutes les sciences, a traité de la Gnomonique dans son *Ars magna lucis et umbræ;* Amsterdam, 1675, in-fol. Il y parle aussi des taches du Soleil, qu'il compare aux *scories qui se forment sur un métal en fusion;* et il rapporte, d'après les chroniques, des périodes où le Soleil, par un ciel serein, n'émettait qu'une lumière comparativement très-faible.

Au milieu des controverses d'alors, le savant jésuite

allemand laissa prudemment à l'écart la question du mouvement de la Terre.

Découverte des étoiles variables ou périodiques.

David *Fabricius* (né à Essen, dans le Hanovre, en 1564, mort en 1617), le père de Jean Fabricius dont nous venons de parler, découvrit le premier une *étoile périodique.* Cette découverte mérite que nous nous y arrêtions un instant. Ce fut le 13 août 1596 que David Fabricius aperçut au col de la *Baleine* (constellation méridionale, au sud d'Andromède) une étoile de 3ᵉ grandeur qui disparut en octobre de la même année. Cette disparition lui fit assimiler cette étoile à l'étoile nouvelle de 1572, observée par Tycho. Il en parle dans sa correspondance avec Kepler.

En 1603, Bayer dessina, dans son *Uranométrie*, au col de la Baleine, à la place même où avait disparu l'étoile de D. Fabricius, une étoile de 4ᵉ grandeur, qu'il appela ο (omicron). J.-Ph. Holwarda, professeur à Franeker, vit la même étoile, au commencement de décembre 1638, pendant une éclipse de Lune; elle surpassait alors en éclat les étoiles de 3ᵉ grandeur. Elle descendit rapidement à la 4ᵉ grandeur et n'était plus visible vers le milieu de l'été de 1639. Les observations d'Holwarda, suivies de celles de Fullenius et de Jungius (de 1641 à 1648), et plus tard des observations plus détaillées d'Hévélius (de 1646 et 1682), mirent hors de doute un fait décisif contre la théorie de l'inaltérabilité des corps célestes, à savoir qu'il y a des *étoiles soumises à des alternatives périodiques de disparition et de réapparition.* Hévélius publia ses observations sous le titre d'*Historiola miræ Stellæ*, etc. C'est de là que l'étoile périodique du col de la Baleine a pris le nom de *Mira Ceti* (l'admirable de la Baleine). Ce ne fut qu'en 1667 que Bouillaud, l'auteur

de l'*Astronomie Philolaïque*, parvint, en discutant les diverses observations faites depuis une cinquantaine d'années, à déterminer l'intervalle qui s'écoule entre deux disparitions consécutives de l'o de la Baleine : cet intervalle est de 333 jours, et la durée de la plus grande clarté d'environ 15 jours.

Simon Marius. — Découverte des premières nébuleuses.

Marius (Simon), mathématicien et astronome de l'électeur de Brandebourg, parle de la découverte des satellites de Jupiter, dans son *Mundus Jovialis anno* 1609 *detectus ope perspicilli Belgici*, etc., Nuremberg, 1614; et à juger par la date qui s'y trouve (28 décembre 1609), on pourrait croire que Marius a la priorité sur Galilée. Il n'en est cependant rien; car il dit lui-même qu'il ne veut porter aucune atteinte aux droits de Galilée. La date indiquée est donc fausse.

Mais si ses droits sont ici fort contestables, Marius a découvert la première *nébuleuse* dont il soit fait mention dans les annales de l'astronomie, la nébuleuse de la ceinture d'Andromède (située près de ν d'Andromède). « Le 15 décembre de l'an 1612, j'aperçus, dit-il, une étoile fixe, telle que je n'en avais jamais vu; elle est voisine de la troisième et de la plus boréale de la ceinture d'Andromède. A l'œil nu, elle paraît *comme un petit nuage*. Avec la lunette on n'y voit aucune étoile; on n'y distingue que des rayons blanchâtres, qui sont plus brillants vers le centre, et la lumière s'affaiblit vers les bords; elle a un quart de degré de diamètre; elle *ressemble à une chandelle vue de loin et de nuit dans une lanterne de corne.* »

Ce ne fut qu'après un intervalle de près d'un demi-siècle que Huygens découvrit, en 1656, la seconde nébuleuse, près de la garde de l'Épée d'Orion (autour de l'étoile mar-

quée θ). Voici comment Huygens s'exprime sur la *nébuleuse d'Orion* dans son *Systema Saturninum*, publié en 1659 : « Les astronomes ont compté dans l'Épée d'Orion trois étoiles très-voisines l'une de l'autre. Lorsque, en 1656, j'observai par hasard celle de ces étoiles qui occupe le centre du groupe, au lieu d'une j'en découvris douze, résultat que d'ailleurs il n'est pas rare d'obtenir avec les télescopes. De ces étoiles, il y en avait trois qui, comme les premières, se touchaient presque, et quatre autres semblaient briller *à travers un nuage*, de telle façon que l'espace qui les environnait paraissait beaucoup plus lumineux que le reste du ciel, qui était entièrement noir. On eût cru volontiers qu'il y avait une *ouverture dans le ciel qui donnait jour sur une région plus éclairée.* »

En 1665, Hévélius découvrit la troisième nébuleuse; elle est située entre *la tête et l'arc du Sagittaire.*

Halley, pendant qu'il travaillait au Catalogue des étoiles du ciel austral, découvrit, en 1681, la quatrième nébuleuse, située près de ω du Centaure ; et Godefroy Kirch en aperçut une autre, dans la même année, près du pied droit ou boréal d'Antinoüs.

Il n'y eut donc, en tout, que cinq nébuleuses de découvertes durant le dix-septième siècle. Ces singulières lueurs, « ces cieux vus à travers des ouvertures de notre ciel, » avaient été pour la première fois aperçues à l'aide du nouveau et puissant levier de découvertes employé par Galilée. Cet instrument n'était pas, pour le répéter, un *télescope* proprement dit (où les images ne se voient que par réflexion), mais une véritable *lunette* (où les images se voient par réfraction). Voici ce qu'on lit dans le *Mundus Jovialis* sur la lunette dont s'était servi Simon Marius : « En 1608, pendant la foire d'automme de Francfort-sur-le-Mein, le général Fuchs de Bienbach, grand amateur de mathématiques, apprit d'un marchand belge qu'on venait d'inventer un instrument qui grossissait les objets en les montrant rapprochés. Le général voulut acheter

une de ces lunettes; mais le marchand y mit un prix trop élevé, et le marché ne fut pas conclu. De retour chez lui, à Onolzbach, l'amateur en parla à Marius, et lui dit que l'instrument avait *deux verres*, l'un *concave* et l'autre *convexe*, dont il lui dessina même la figure. Marius se mit dès lors à assortir des verres de cette forme et s'assura de la possibilité de ce qu'on lui avait raconté; mais son oculaire étant trop convexe, il en demanda un autre aux opticiens de Nuremberg, qui ne purent lui fournir ce qu'il désirait. L'été suivant (1609), le général Fuchs reçut de la Belgique une lunette assez bonne, dont il se servit avec Marius pour explorer le ciel. » — Ce fut dans la même année de 1609 que Galilée avait, pour la première fois, entendu parler des lunettes belges.

Gassendi. — Première observation du passage de Mercure sur le disque du Soleil.

Pierre *Gassendi* (né en 1592 à Champtercier, près de Digne, mort à Paris en 1655) fut du nombre de ces philosophes d'élite qui cultivent avec succès en même temps l'astronomie et les mathématiques. Fils de modestes cultivateurs, il était destiné à la vie paisible des champs; mais son intelligence précoce lui ouvrit une autre carrière. Il entra dans les ordres, et fit ses premières études à Digne et à Aix, où il obtint, au concours, en 1616, la chaire de philosophie. Il entra l'année suivante dans les ordres. Peiresc, que Bayle appelle le *procureur général des sciences*, lui donna le goût des observations astronomiques. Ses hésitations pusillanimes à se prononcer franchement pour le système de Copernic présentent un spectacle fort affligeant. Comme Descartes, ce n'est que dans l'intimité ou dans sa correspondance privée que Gassendi

osait se déclarer copernicien[1]. Mais dans ses ouvrages imprimés qui, tel que son *Institutio astronomica*, devaient passer sous les yeux de la congrégation de l'Index, il se montrait beaucoup moins affirmatif. Il préférait sans doute le système de Copernic à tout autre ; « mais, ajoute-t-il, *il est contraire à l'Ecriture ;* en conséquence, et pour obéir, je me vois contraint de donner la palme à Tycho. » On voit que le prêtre avait déteint sur le philosophe.

Gassendi avait reçu les Dialogues de Galilée par l'intermédiaire de son ami Diodati. Il ne put s'empêcher d'en manifester librement son admiration. « Nulle objection, écrivit-il à Galilée, ne tient devant vos principes ; les démonstrations et les hypothèses de tous les anciens sont des puérilités et des rêveries, quand on les compare à vos arguments. » Mais cet enthousiasme se refroidit singulièrement à la première nouvelle de la condamnation de Galilée. Les paroles de consolation que Gassendi transmit à Galilée, dans une lettre du mois de février 1634, sont loin de respirer le courage du génie : il lui conseille, avec Horace, la patience et la résignation : *Durum, sed levius fit patientia.* Plusieurs lettres de Descartes, qui, comme nous avons vu, ne fut guère plus courageux, attestent la profonde impression que fit sur Gassendi la sentence de l'Inquisition. Son imagination s'exalta ; il vit son repos troublé, sa chère liberté compromise, et pensa à *brûler tous ses papiers.* Le P. Mersenne, publiant, en 1634, un livre intitulé : *Questions théologiques, physiques, morales et mathématiques*, fit supprimer au plus vite l'analyse du premier dialogue de Galilée, qu'il avait donnée dans les premiers exemplaires[2].

Ce qui assigne à Gassendi une place distinguée dans l'histoire de l'astronomie, c'est d'avoir le premier ob-

1. Voyez l'article *Gassendi* par M. Aubé, dans la *Biographie générale.*

2. F. Arago, *Notices biographiques*, t. III, p. 257.

servé le *passage de Mercure sur le disque du Soleil.* Il en a publié les détails dans un opuscule intitulé : *Mercurius in Sole visus, Parisiis, pro voto et admonitione Kepleri.* « Le rusé Mercure, écrivait-il joyeusement à Schickhardt, professeur d'hébreu à Tubingue, voulait passer sans être aperçu : il était entré (dans le Soleil) plus tôt qu'on ne s'y attendait ; mais il n'a pu échapper sans être découvert, εὕρηκα καὶ ἑώρακα [1] ; je l'ai trouvé et je l'ai vu, ce qui n'était arrivé à personne avant moi, le matin du 7 novembre 1631. »

L'époque du passage de Mercure et de celui de Vénus avait été annoncée par Kepler. Gassendi s'était préparé à l'observer. A cet effet, il avait divisé en 60 parties le diamètre d'un cercle tracé sur un papier blanc qui devait recevoir l'image du Soleil par le tuyau d'une lunette ; la circonférence de ce cercle était divisée en 360 degrés. Un aide placé dans un étage supérieur, avec un quart de cercle de dix pieds de rayon, était chargé de lui donner le signal quand il verrait Mercure, et de saisir avec son quart de cercle les mouvements du Soleil, pour avoir les hauteurs pour chacun des instants d'observation. Le 7 novembre, dans la matinée, le ciel était couvert de nuages ; il s'éclaircit un peu vers 9 heures, et l'observateur put recevoir l'image du Soleil sur le carton ; il y aperçut, à la distance d'environ un quart de diamètre du bord inférieur, un point noir qui avait un peu passé le vertical. Il le prit d'abord pour une simple tache du Soleil ; mais il changea d'opinion, quand il vit le point noir se déplacer : il put ainsi se convaincre que c'était Mercure ; seulement il se l'était imaginé beaucoup plus gros. Il donna le signal convenu ; mais l'aide n'était plus à sa place ; Gassendi l'appela, et l'aide eut le temps de s'in-

1. Par ces mots (*j'ai trouvé et j'ai vu*), Gassendi faisait allusion aux travaux des alchimistes qui cherchaient à *marier* (combiner) le *vif-argent* (Mercure) avec l'*or* (Soleil).

staller avec son quart de cercle avant que Mercure eût quitté le disque du Soleil. Mercure lui parut noir au milieu, rougeâtre au bord et d'un diamètre d'environ 20″. Au moment où Mercure quitta le disque lumineux, le Soleil était à 21° 42′ de hauteur, correction faite de la réfraction; d'où Gassendi conclut la sortie de Mercure à 32° ou 33° du vertical, à 10 heures 28 minutes du matin.

« Qui pourrait, s'écrie ici Gassendi, s'imaginer que ce Mercure, qu'on appelle *trismegiste* (trois fois très-grand), fût si petit? On devrait plutôt le nommer *trisélachiste* (trois fois très-petit). » — Et en effet, ce n'est pas même un angle de 20″, mais seulement un angle de 12″, que Mercure sous-tend dans sa conjonction inférieure. Or un objet rond et obscur, d'une telle petitesse, n'est pas visible à l'œil nu, lors même qu'il se projeterait sur le Soleil. Pour l'apercevoir, il fallait l'artifice employé par Gassendi, et imaginé par le P. Scheiner: recevoir l'image agrandie du Soleil sur une feuille de papier blanc. Aussi n'est-il guère probable qu'Averrhoès ait, comme on l'a dit, le premier aperçu Mercure sur le Soleil.

La seconde observation de ce remarquable phénomène, d'une si grande utilité pour calculer exactement l'orbite de la planète, fut faite en 1651 par Skakerlæus, qui, pour en être témoin, se rendit tout exprès à Surate, dans l'Hindostan.

La troisième observation fut faite en 1661 par Hévélius, qui, comme Gassendi, se contentait d'examiner l'image agrandie du Soleil dans une chambre obscure.

Mesure du rayon terrestre.

Le rayon terrestre étant en quelque sorte le *mètre* avec lequel les astronomes évaluent les distances des globes constitutifs de notre monde, on comprend de quelle im-

portance est sa détermination exacte. Mais pour y arriver il fallait employer des méthodes plus rigoureuses que celles dont on avait fait jusqu'alors usage.

D'après un procédé dont l'idée première remonte à Eratosthène, on est parvenu à connaître le rayon de la Terre par la mesure d'un arc du méridien. Cette mesure implique deux opérations distinctes, celle de la détermination du déplacement du zénith lorsqu'on passe d'une première station à la seconde, et l'opération destinée à fournir l'intervalle géodésique compris entre le point de départ et le point d'arrivée. Pour exécuter cette dernière opération, *Snellius*[1] imagina une méthode qui consiste à choisir, de part et d'autre de la ligne méridienne passant par le point de départ, des points situés de manière à être aperçus de loin, par exemple des sommets d'édifices élevés ou des signaux artificiels placés sur le haut des collines. Si l'on mesure ensuite les angles que font entre eux les plans verticaux qui passent par ces divers points et les angles qu'ils font avec la méridienne, et si l'on détermine les distances angulaires elles-mêmes des diverses stations, on aura un réseau de triangles dans lesquels tous les angles sont connus. Conséquemment, à la condition qu'on mesure directement un des côtés de ces triangles, pris pour base, on pourra par le calcul obtenir tous les autres côtés et déterminer la grandeur de l'arc de la méridienne traversant la série des triangles. C'est la *méthode de triangulation*, encore aujourd'hui employée. Si l'opération qu'entreprit Snellius pour mesurer un degré terrestre entre les villes d'Alkmaer et Berg-op-Zoom manque d'exactitude, ce fut à cause de l'imperfection des instru-

1. *Snellius* de Royen (Willebrod), né en 1591 à Leyde, mort en 1626, fut, comme Pascal, un enfant prodige : à dix-sept ans il essaya de restituer le traité perdu d'Apollonius *De sectione determinata* (1608, in-4°); il visita la France et l'Allemagne, recueillit les leçons de Kepler et de Tycho, devint, à vingt-deux ans, professeur de mathématiques à Leyde, et mourut à trente-cinq ans. Snellius a trouvé la loi de la réfraction,

ments dont on se servait alors. Les détails de cette opération, qui lui donna 330 432 pieds pour le degré du méridien, se trouvent consignés dans *Eratosthenes Batavus*, 1617.

Le P. Riccioli et son compagnon le P. Grimaldi furent moins heureux qu'aucun de leurs prédécesseurs dans la mesure du degré du méridien. Snellius s'était trompé d'environ 4000 mètres; mais Riccioli se trompa de plus de 10 000 mètres.

Richard *Norwood* eut, en 1635, la patience de mesurer la distance itinéraire de Londres à York une chaîne à la main, en conservant autant que possible toujours la même direction; il eut en même temps soin de déterminer, au moyen de la boussole, l'angle que la ligne du chemin mesurée faisait avec le méridien, aussi bien que les angles d'inclinaison à l'horizon à chaque fois qu'il montait ou descendait; après quoi, il réduisait les longueurs trouvées au plan horizontal et au méridien; enfin il mesura, en deux jours du solstice d'été, les hauteurs du Soleil à Londres et à York avec un secteur de cinq pieds de rayon, et, trouvant que ces deux villes différaient en latitude de 2° 20′, il en conclut que le degré était de 367 176 pieds (environ 115 000 mètres). Norwood reconnut lui-même combien son procédé devait laisser à désirer pour l'exactitude.

Picard fut chargé de la mesure d'un degré terrestre par l'Académie des sciences, dont il faisait partie depuis sa fondation[1]. A cet effet, il fit construire des instruments d'une précision jusqu'alors inconnue, imagina des procé-

1. Jean *Picard* (né à La Flèche en 1620, mort à Paris en 1682) rendit de grands services à l'astronomie pratique en appliquant les lunettes aux instruments gradués et en faisant servir à la détermination des ascensions droites l'heure du passage des astres au méridien. C'est aux plans et à l'influence de l'abbé Picard qu'est due la construction de l'Observatoire de Paris. Il composa les cinq premiers volumes de la *Connaissance des Temps* (1681-1683).

dés nouveaux, et consacra une grande partie des années 1669 et 1670 à l'opération géodésique, dont il a donné les détails dans sa *Mesure de la Terre*; Paris, 1671, in-fol. Il trouva que la distance itinéraire, comprise entre les parallèles d'Amiens et de Malvoisine, est de 78 850 toises, ce qui donnait 57 000 toises pour la longueur d'un degré du méridien terrestre. C'est cette mesure qui porta Newton à reprendre le travail qu'il avait abandonné, et qui le conduisit finalement à la découverte de la loi qui porte son nom.

CHAPITRE VII

NEWTON[1]. — SES DÉCOUVERTES ASTRONOMIQUES.

Nous avons vu que Copernic et Kepler avaient émis sur la force d'attraction des idées dignes de remarque. Bouilland, dans son *Astronomia Philolaïca*, reprochait à Kepler de ne pas avoir érigé en loi la diminution de la force d'attraction en raison doublée des distances. Ces idées furent reprises par Borelli et par Hooke. Borelli soutenait, en 1666, que les mouvements des planètes autour du Soleil s'effectuent selon les mêmes lois qui régissent les révolutions des satellites autour de leurs planètes. Enfin en mai de la même année, Robert Hooke lut devant la Société Royale de Londres un mémoire où il expliquait la formation des orbites planétaires par la combinaison d'une force tangentielle constante des planètes avec une force centripète variable du Soleil, et en 1674 il essaya d'établir que les astres exercent une force d'attraction tout à la fois sur leurs propres éléments matériels et sur les autres corps célestes, et que cette force est d'autant plus grande que les corps sont plus rapprochés.

1. Pour les découvertes non astronomiques de Newton, ainsi que pour les détails de sa vie, voyez notre *Histoire de la Physique* et notre *Histoire des Mathématiques*.

Ce rapide aperçu historique nous fait voir que le principal mérite de Newton est, non pas d'avoir découvert, mais d'avoir démontré la loi de la gravitation universelle. Voici comment il parvint à cette démonstration, qui est son plus grand titre de gloire.

La pesanteur diminue-t-elle comme le carré de la distance? D'après une croyance légendaire, Newton s'était adressé cette question à lui-même à l'occasion de la chute d'une pomme[1]. Mais Kepler, Galilée, Bouillaud, Huygens avaient pu, avant Newton, se demander pourquoi une pomme ou tout autre corps tombe dès qu'il n'a plus de support, et, comme cette chute s'effectue toujours dans le sens de la verticale, ils pouvaient supposer qu'il y a au centre de la Terre quelque chose qui attire tous les corps. Ce quelque chose, cette force enfin, peu importe le nom qu'on lui donne, de quelle manière ou suivant quelle loi agit-elle sur les corps tombants? Jusqu'à quelle distance de la Terre cette force se fait-elle sentir? Et dans le cas où son influence s'étendrait jusqu'à la Lune, quel effet produirait-elle sur cet astre?

Lorsqu'on tire un canon dans une direction horizontale, le boulet dévie de la direction reçue et va frapper au-dessous du point visé d'une quantité exactement égale à celle de sa chute par la verticale dans le même espace de temps. Voilà un fait facile à vérifier. Or, si l'on supposait le canon transporté à la distance de la Lune, le boulet ainsi tiré ne pourrait-il pas continuer à se mouvoir autour de la Terre, comme la Lune? A cette question si importante, Newton répondit avec certitude par le calcul. Mais auparavant il fallait connaître trois cho-

1. Ce fut dans un jardin de son lieu natal qu'il vit tomber la pomme qui lui donna, dit-on, la première idée de la gravitation. Ce pommier fut longtemps l'objet d'un espèce de culte de la part des admirateurs de Newton. Il fut brisé en 1826 par un ouragan, et de son vieux tronc on fabriqua une chaise qu'on montre encore aujourd'hui aux amateurs de ces sortes de curiosités.

ses : 1° la loi d'après laquelle cette force agit ; 2° le temps précis de la révolution lunaire ; 3° la grandeur exacte de la Terre ou de son rayon.

L'observation avait montré que près de la surface de la Terre la chute des corps dans la première seconde est, sous notre latitude, en chiffres ronds de 15 pieds[1]. De combien sera cette chute à une distance de 10, de 100, de 1000, etc., lieues de la surface terrestre? La réponse sera facile si l'on admet comme démontrée la proposition déjà entrevue par Kepler, d'après laquelle *l'attraction est en raison inverse du carré de la distance.* Comme l'attraction agit en tous sens, on peut l'assimiler à de la lumière qui partirait du centre de la Terre. Que l'on se figure un globe creux, d'un rayon, par exemple, de 100 mètres, et dont le centre coïnciderait avec celui de la Terre ; la face interne de ce globe sera éclairée par cette lumière avec une certaine intensité. Si le globe est d'un rayon double, c'est-à-dire de 200 mètres, sa face interne sera plus faiblement éclairée par la même lumière. De combien? Les surfaces des globes étant comme les carrés de leurs rayons, le second globe sera, à son intérieur, 4 fois moins éclairé que le premier. Si son rayon est 3, 4 etc. fois plus grand, le globe sera 9, 16, etc. fois moins éclairé; en un mot, la puissance éclairante *diminuera comme le carré de la distance.* Or la même loi s'applique à la pesanteur ou à l'attraction, si on fait partir cette force du centre de la Terre. La chute d'un corps pour une distance quelconque, exprimée en rayons terrestres, sera donc égale à 15 pieds (chute par la première seconde) divisés par le carré de la distance. Ainsi, le Dhawalaghiri (pic de l'Himalaya), l'une des montagnes les plus élevées de la Terre, est de 24 150 pieds au-dessus du niveau de la mer ; sa hauteur est donc à peine la 800e partie du rayon terrestre, ou la distance de son sommet au centre de la Terre est de

1. Plus exactement de 15 pieds 3 lignes, ou de $4^{m},949$.

1^{rayon},0012. Divisant l'unité par le carré du dernier nombre, on obtient 0,998, et celui-ci multiplié par 15 donne 14,970. Cela veut dire que sur le sommet de cette montagne la chute des corps dans la première seconde sera, non plus de 15 pieds, mais seulement de 14 p., 97, ou, si l'on prend la pesanteur à la surface moyenne de la Terre pour unité, elle se trouvera diminuée, au sommet de la montagne, d'un dix-millième environ (plus exactement 0,998). Or une différence aussi petite ne pouvait pas être vérifiée par voie directe. C'est pourquoi tous les physiciens considérèrent d'abord la pesanteur comme constante sur tous les points du globe[1].

Ce résultat aurait pu dérouter tout autre que Newton ; mais le génie, c'est la sagacité unie à la patience. Si, se disait-il sans doute, à plus de dix milles au-dessus de la surface de la Terre, la force d'attraction est à peine dimi-

1. Dans une lettre à Halley, à l'occasion de ses démêlés avec Hooke, Newton dit positivement qu'il n'avait point étendu la loi du carré des distances à des fractions si petites du rayon terrestre. « Je n'ai jamais, dit-il, étendu la loi du carré à des distances au-dessus de la surface de la Terre; et avant une certaine démonstration que je trouvai l'année dernière (1685), j'avais soupçonné qu'elle ne s'étendait pas même jusque-là; c'est pourquoi je n'en fis jamais usage dans la théorie des projectiles, que je considérais indépendamment des mouvements célestes.... Lorsque Huygens publia son traité *De horologio oscillatorio* (en 1672), il m'en envoya un exemplaire. Dans la lettre de remerciements que je lui adressai, je fis un éloge particulier des théorèmes, qu'il a placés à la fin de son livre, à cause de leur utilité pour calculer la tendance de la Lune à s'éloigner de la Terre, celle de la Terre pour s'éloigner du Soleil, ainsi que pour résoudre une question relative à la constance de l'aspect de la Lune et assigner une limite à la parallaxe solaire; ce qui montre que déjà vers cette époque j'avais mon attention tournée vers les forces centrifuges des planètes, résultantes de leur mouvement circulaire, et que j'en comprenais la théorie; et, par conséquent, lorsque Hooke proposa solennellement la question de la recherche de ces forces, dans son *Essai pour prouver le mouvement de la Terre*, si je n'avais pas alors connu la raison du carré des distances, je n'aurais pu manquer de la découvrir. » (*Biographia Britannica*, article *Hooke*, et Biot, *Mélanges scientifiques*, t. I, p. 175 et suiv.)

nuée, peut-être qu'à la distance de la Lune cette diminution sera-t-elle assez sensible pour avoir un effet marqué. Supposé maintenant que la loi du carré fût universellement vraie : un corps transporté à 60 (plus exactement 60,2965) rayons terrestres, c'est-à-dire à la distance de la Lune, tomberait dans la première seconde d'une quantité égale à 15 pieds, divisée par le carré de 60,2965, ou 0^{pied},00413, ce qui fait environ $\frac{3}{10}$ de ligne. C'est là ce qu'il importait à Newton de connaître et de démontrer.

Huygens, dans ses propositions sur les forces centrales, avait établi que pour tous les corps qui tournent dans des cercles, les carrés des temps de leur rotation sont comme les rayons de ces cercles, divisés par la pression que ces corps exercent perpendiculairement aux périphéries, et que cette pression doit être considérée comme la force qui, dirigée vers le centre du cercle, produit le mouvement de rotation. Il s'ensuit donc que dans tous les mouvements circulaires la force d'attraction, partant du centre, est en raison inverse du carré du rayon, c'est-à-dire que *la force centrale d'attraction diminue à mesure que la distance du corps attiré augmente*, et cela *dans le rapport du carré de cette distance.*

Newton connaissait parfaitement la proposition d'Huygens et il en profita pour la résolution de son problème. Mais, — comme tout s'enchaîne ! — pour y arriver, il lui fallait encore deux éléments : il lui fallait connaître le temps exact de la révolution lunaire, et la mesure précise du rayon terrestre. Or on savait depuis longtemps que la révolution sidérale de la Lune est de 27^{j}, 321 614, c'est-à-dire qu'elle met exactement ce temps à parcourir 360° ou 1 296 000″. On trouve donc facilement, par une simple proportion, que la Lune, dans son mouvement autour de la Terre, parcourt dans chaque seconde de temps le petit angle de 0″,5490. Or on sait que la demi-circonférence d'un cercle dont le rayon est pris pour unité, est = 3 rayons, 1415 926 ; conséquemment à un angle de

648000″ correspond un arc de 3 rayons, 1415 926, et à un angle de 1″ correspond un arc de 0 rayon, 000 048 481. Multipliant ce dernier nombre par 0,490 (angle parcouru en une seconde), on obtient l'arc décrit par la Lune en une seconde de temps ; cet arc est égal à la 0,000 0026617e partie du rayon de l'orbite lunaire. Enfin, comme les observations de la parallaxe de la Lune donnent, pour la distance moyenne de cet astre au centre de la Terre, 60^r,2965, il suffisait de multiplier les deux nombres l'un par l'autre, pour trouver que l'arc que la Lune parcourt en une seconde est de 0,0001605 du rayon terrestre. Mais comme il s'agissait de comparer la chute des corps à la surface de la Terre avec la révolution de la Lune, pour s'assurer si ces deux mouvements dépendent de la même cause, il était nécessaire de connaître préalablement la mesure du rayon terrestre, exprimée en pieds ou en toute autre mesure alors adoptée.

Malheureusement Newton, au lieu de faire ici usage des travaux de Snellius et de Norwood[1], qu'il ne paraissait pas avoir connus, prit, d'après une évaluation alors généralement admise, le degré du méridien = 60 milles anglais (297 251 pieds de Paris) ; d'où il déduisit le rayon terrestre égal à 17 031 230 pieds. Multipliant ce nombre par 0,0001605 (arc lunaire d'une seconde, exprimée par une fraction du rayon terrestre), il trouva 27335 pieds pour l'arc que la Lune parcourt en une seconde de temps. Or ce résultat était erroné : il est d'*un septième environ trop petit.* D'après cette fausse donnée, la chute de la Lune (par le seul effet de la pesanteur) serait, en une seconde, de 0^{pied},000361, ou égale au carré de 2733,5, divisé par (60,2965) × 34 062 460, ce qui donnerait, pour la chute d'un corps dans le même espace de temps à la surface terrestre, non plus 15, mais 131 pieds.

Évidemment un pareil résultat ne pouvait être mis sur

1. Voy. p. 409.

le compte d'une erreur d'observation. Que fit alors Newton? Au lieu de suspecter l'exactitude des éléments de son calcul, il rejeta tout le tort sur l'hypothèse même qui lui avait servi de point de départ. Il est, se disait-il, inexact de prétendre que la même force qui fait tomber une pierre fasse mouvoir la Lune, ou du moins que cette force diminue comme le carré de la distance. Ce raisonnement, qui était une erreur, le conduisit à l'idée — qui était une nouvelle erreur — qu'il devait y avoir là encore d'autres forces en jeu, d'un rôle inconnu, et il se reprochait déjà d'avoir rejeté trop vite la théorie des tourbillons de Descartes. Mais, ces tourbillons ne se prêtant pas au calcul, il s'arrêta tout court dans ses recherches, les traitant de vaines spéculations. C'est ainsi que nous avons vu Kepler, par suite d'une simple inadvertance de calcul, lâcher la vérité qu'il tenait.

Newton reprit alors ses études sur la lumière; nous les avons fait connaître ailleurs. Il en était là lorsque en 1678 il fut chargé par la Société royale de Londres de faire un rapport sur un ouvrage d'astronomie, aujourd'hui complétement oublié, mais qui au moment de son apparition eut un grand succès. Dans une lettre adressée à Hooke, secrétaire de cette Société, il rend compte de ce travail, et ajoute qu'il serait possible de démontrer la rotation de la Terre par des observations directes. A cet effet, il proposa l'expérience, depuis souvent répétée, de la chute des corps du haut d'une tour élevée. Il soutenait que ces corps, à cause du mouvement de la Terre, devaient éprouver une légère déviation, et venir tomber un peu à l'est de la tour, parce qu'avant leur chute ces corps participent à la vitesse acquise du sommet de la tour, qui est plus grande que celle de la base. Hooke, chargé de l'exécution de cette expérience délicate, fit observer que les corps doivent, dans l'hémisphère boréal, tomber à la fois à l'est et un peu au sud de la base de la tour. Newton reconnut la justesse de cette

observation, depuis parfaitement confirmée, et il ajoutait, dans sa réponse à Hooke, qu'un examen plus approfondi de ce sujet l'avait convaincu que la courbe parcourue par les corps tombants devait être une spirale. Mais Hooke, loin d'être de la même opinion, répliqua que cette courbe devra être une ellipse, si l'attraction terrestre est en raison inverse du carré de la distance. C'était rappeler à Newton le souvenir d'une ancienne déception, *infandum... dolorem!* Naturellement timide et rendu circonspect, Newton n'osa pas encore reprendre directement la question qui lui avait causé un si cruel mécompte. Enfin, ce ne fut que seize ans après son premier insuccès que le *hasard*, c'est-à-dire un *je ne sais quoi*, le remit sur la voie qu'il avait abandonnée trop vite.

Un jour du mois de juin 1682, Newton arriva l'un des premiers au lieu de réunion de la Société royale. En attendant que l'assemblée fût au complet, il prêtait l'oreille à une conversation qui se tenait à côté de lui, et où il était question des résultats obtenus en France par Picard pour la mesure du méridien. L'un des membres montrait une lettre où ces résultats se trouvaient discutés. Newton en prit note et durant tout le reste de la séance il demeura indifférent à ce qui se passait autour de lui. Rentré chez lui, il se hâta de chercher ses anciens calculs de 1666, et se mit à les comparer avec le nombre de 19 615 780 pieds pour le rayon terrestre, et 3148,3 pieds pour l'arc décrit par la Lune en une seconde, l'un et l'autre résultats étant déduits de la mesure du méridien obtenue par Picard. A peine eut-il commencé ce travail, qu'il se sentit défaillir par un saisissement étrange. Le monde avec ses mouvements compliqués s'ouvrit-il tout à coup, comme un livre mystérieux, à ses yeux éblouis? Fut-il subjugué par une de ces échappées de vue. interdites au commun des mortels? Personne se saurait répondre à ces questions. Toujours est-il que son émotion fut si vive qu'il se vit obligé de confier la vérification de ses

calculs à un de ses amis. Il en résulta la confirmation la plus inattendue de la grande loi qui jusqu'alors n'avait eu encore que la valeur d'une hypothèse.

Voici la construction géométrique par laquelle on peut se rendre compte de la découverte de Newton (fig. 11). Soit

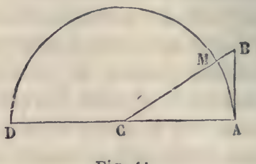


Fig. 11.

C à la fois le centre de la Terre et celui de l'orbite lunaire AMD ; A le centre de la Lune ; AM l'arc que la Lune parcourt en une seconde ; AB la droite que suivrait la Lune si elle était mue par la seule force d'impulsion ; BM la quantité dont elle tomberait en une seconde, si elle obéissait à la seule force de l'attraction terrestre (pesanteur) [1].

C'est cette quantité ou petite ligne BM qu'il s'agissait de déterminer, pour voir si elle est réellement (d'après le calcul admis plus haut) de 0 pied, 00413. Comment y arriver? Nous connaissons déjà la valeur CA ou CD (distance de la Lune à la Terre) et la valeur de l'arc AM. Or les éléments de la géométrie suffisent pour démontrer que BM est égal au carré de AM, divisé par AD, double distance de la Lune à la Terre. Remplaçant ces lettres par les nombres fournis par Picard, on a : 0 pied, 00410

$$= \frac{(3148,3)^2}{2 \times (60,2965) \times 19\,615\,780} \text{ ou } BM = \frac{(AM)^2}{AD}$$

Or 0,00410 ne diffère que d'une quantité insignifiante de 0,00413, trouvé par hypothèse.

1. Dans la figure ci-dessus, la ligne AB représente l'espace que la Lune ou le boulet parcourt en une seconde en vertu de la force d'impulsion, et la ligne BM la quantité dont la Lune ou le boulet tombe

Mais cette loi ainsi démontrée pour la Terre et la Lune s'applique-t-elle aux autres astres de notre monde? Newton parvint à répondre affirmativement. C'est dans le développement de cette question qu'il a déployé toute la grandeur de son génie. Il s'en occupa sans relâche pendant quatre ans, et consigna les résultats de son travail dans son immortel ouvrage : *Principia philosophiæ naturalis mathematica.* Après y avoir montré l'effet combiné (courbe) de deux forces, l'une d'impulsion primordiale — *force centrifuge*, — suivant la direction de la tangente à l'orbite, et l'autre d'attraction — *force centripète*, — suivant la direction du rayon de l'orbite (en comparant la Lune à un boulet lancé avec assez de force ou à une assez grande distance du centre attractif pour qu'en tombant il ne puisse plus atteindre ce centre, et que, en vertu de ce qu'on appelle l'*inertie* de la matière, il continue d'obéir à l'impulsion primitive, tangentielle, mais deviée par la force centrale), l'auteur rappelle que les molécules matérielles distribuées dans le volume d'une sphère agissent en somme sur un point extérieur, comme si elles étaient toutes réunies au centre de la sphère; de là les corps célestes, quelque grands qu'ils soient, peuvent, pour la simplification du calcul, être considérés comme des points, et cette force attractive étant commune à toute molécule matérielle et en raison directe de la densité de cette molécule, il s'ensuit que non-seulement le Soleil agit sur les planètes en leur faisant parcourir des ellipses, mais les planètes elles-mêmes agissent les unes sur les autres proportionnellement à leurs masses, de manière à apporter dans leurs orbites un trouble apparent; je dis *apparent*, parce que ce trouble même est la confirmation la plus belle, la plus harmonieuse, de la grande loi universelle, formulée en ces simples paroles:

dans le même espace de temps, et AM l'arc que le projectile parcourt en réalité. Voy. plus haut p. 413.

La force d'attraction d'un corps est égale à la masse divisée par le carré de la distance.

Toutes les grandes découvertes astronomiques se rattachent à cette loi, qui a été depuis perfectionnée dans ses applications par Laplace, Clairaut, Euler, d'Alembert et Lagrange. Elle a permis d'expliquer toutes les perturbations planétaires, que l'on a distinguées en *inégalités séculaires* et en *inégalités périodiques*, c'est-à-dire en périodes moins longues que les inégalités séculaires[1]. Grâce à la petitesse des planètes comparativement à la masse du Soleil, grâce encore à la grandeur relative de leurs intervalles, les perturbations de chaque planète peuvent, sans erreur sensible, être évaluées par l'action du Soleil et de la planète la plus voisine de la première. C'est là ce que l'on connaît sous le nom de *problème des trois corps*. Sans cette possibilité, et si, à raison de leurs valeurs, il fallait, pour une planète donnée, tenir compte de l'action troublante de *toutes les planètes* à la fois, le calcul des perturbations défierait tous les efforts de l'analyse.

C'est armé de sa loi que Newton put répondre à des questions qui n'étaient pas même venues à l'esprit d'aucun des philosophes grecs, d'une imagination pourtant si féconde. Connaissant les masses et les distances des astres, il savait avec certitude qu'un corps qui sur notre planète parcourt en tombant 15 pieds dans la première seconde, en parcourrait, dans le même espace de temps, 430 sur le Soleil, 39 sur Jupiter, etc.

L'aplatissement de Jupiter fit déterminer à Newton la vraie forme de la Terre: ayant trouvé que la force centri-

1. « La manière la plus simple, dit Laplace, d'envisager les diverses perturbations consiste à imaginer une planète mue, conformément aux lois du mouvement elliptique, sur une ellipse dont les éléments varient par des nuances insensibles, et à concevoir en même temps que la vraie planète oscille autour de cette planète fictive, dans un très-petit orbe dont la nature dépend de ses perturbations périodiques. »

fuge, développée par la rotation, équivaut sous l'équateur à la 289e partie de la pesanteur, il en déduisit que notre Terre était un *sphéroïde de révolution*. Le premier il fit dépendre la *précession des équinoxes* de l'aplatissement de notre globe, déclarant que ce phénomène ne pourrait exister pour aucune planète parfaitement sphérique. Newton posa aussi le problème mécanique de la *nutation de la Lune*, qui ne fut complétement résolu que par d'Alembert, Euler et Laplace. Il rattacha à la gravitation universelle le phénomène de la marée, qu'un ancien avait appelé « le tombeau de la curiosité humaine ». Supposant la Terre complétement recouverte d'eau, il montra que ce fluide doit, sous l'action attractive du Soleil, prendre la figure d'un ellipsoïde dont le grand axe est constamment dirigé vers l'astre central ; ajoutant à cette action celle de la Lune, qui produit aussi sur la mer un ellipsoïde, mais plus allongé, puisque son action est plus puissante, il fit comprendre que, si les deux actions du Soleil et de la Lune s'ajoutent (aux syzygies) ou se retranchent (aux quadratures et positions intermédiaires), il devra en résulter de grandes et de petites marées.

Enfin, les *comètes* elles-mêmes, dont les courses vagabondes faisaient le désespoir des astronomes, Newton essaya de les soumettre à sa loi en faisant rentrer leur courbe dans une section conique.

Il semblerait naturel de croire que l'apparition d'un ouvrage qui donnait la clef d'aussi grands mystères fut accueillie avec un enthousiasme universel. Ce serait pourtant une grave erreur. Le livre des *Principes* fut froidement accueilli dans tous les pays du continent ; pendant plus de cinquante ans il n'exerça que peu ou point d'influence sur les travaux des savants. Pourquoi ? Parce que toute innovation a pour ennemis les innombrables partisans de l'autorité traditionnelle. La physique des tourbillons de Descartes régnait alors en souveraine dans les écoles de l'Europe. En France surtout on tenait

à la philosophie de Descartes comme à une gloire nationale: Maupertuis et Voltaire furent traités de mauvais patriotes pour avoir voulu introduire dans leur pays une production anglaise, la philosophie de Newton. C'est, comme on voit, jusqu'au domaine de la science, patrimoine du genre humain, que l'égoïsme national cherche à étendre ses étroits sentiments. Puis, pour tout dire, la philosophie de Descartes flattait l'imagination plutôt que l'intelligence, tandis que celle de Newton s'adressait exclusivement à l'intelligence. Préférant à la méthode analytique, alors généralement suivie, la méthode synthétique des géomètres grecs, Newton, dans son style laconique, souvent obscur, cherchait, non pas à instruire, mais à convaincre : tout son livre n'est en effet qu'une longue démonstration. Si, comme on l'a dit, il n'y eut alors que trois ou quatre hommes capables de comprendre le livre des *Principes*, cela ne prouve guère en faveur de sa simplicité, à laquelle d'autres auraient préféré la sublimité. Euler lui-même (dans la Préface de sa Mécanique) signale les difficultés que lui offrit la lecture du livre des *Principes*[1].

Critique des découvertes de Newton.

Huygens, préoccupé de ses idées sur la cause de la pesanteur, n'admettait la gravitation newtonienne que pour les astres, et la rejeta pour les molécules.

1. Ce livre fondamental, intitulé : *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, eut, du vivant de l'auteur, trois éditions : la 1re fut publiée en 1687, in-4°, sur les instances de Halley ; la 2e parut en 1713, par les soins de Cotes, et la 3e en 1726, par les soins Pemberton. Ces trois éditions renferment des différences notables. C'est de la 3e que Newton a retranché la scolie concernant Leibniz, avec lequel il s'é-

Leibniz, dont le génie avait une trempe essentiellement métaphysique, se posa hardiment en adversaire du philosophe anglais. Malheureusement Newton avait lui-même donné prise à la critique en doutant de la conservation indéfinie des éléments planétaires : il croyait qu'une main puissante devait intervenir de temps à autre pour réparer le désordre inévitable[1]. Leibniz ne pouvait lui pardonner de faire ainsi de Dieu un espèce d'horloger. « Cette machine de Dieu, dit-il, est même si imparfaite qu'il est obligé de la décrasser de temps en temps par un concours extraordinaire et même de la raccommoder, comme un horloger son ouvrage, qui sera d'autant plus mauvais maître, qu'il sera plus souvent obligé d'y retoucher. Selon mon sentiment, la même force y subsiste toujours et passe seulement de matière en matière, suivant les lois de la nature et le bel ordre préétabli. Et je tiens, quand Dieu fait des miracles, que ce n'est point pour soutenir les besoins de la nature, mais pour ceux de la grâce[2]. »

Nous savons comment Laplace parvint par une confirmation éclatante de la loi newtonienne à rendre inutile l'intervention de Dieu pour remonter de temps à autre les pièces de la grande horloge du monde.

Leibniz reprochait encore à Newton de faire de l'espace le *sensorium* de Dieu, d'admettre le vide, d'assigner des bornes à la matière et à l'univers, et d'employer un mot (le mot *attraction*) qui, à moins d'un miracle, n'explique rien. Newton avait dit : « Ce que j'appelle *attraction* est peut-être causé par quelque impulsion ou de quelque

tait brouillé. Le livre des *Principes* fut traduit en français par la marquise Du Chastelet. Cette traduction fort recherchée, revue par Clairaut et ornée d'une préface de Voltaire, parut en 1759, Paris, 2 vol. in-4°.

1. Ce doute se trouve exprimé dans son *Optique* (*Dernière Question*, p. 346).

2. *Recueil de pièces diverses de Leibniz, Clarke, Newton*, etc., t. I, p. 8.

autre manière qui nous est inconnue. Je ne me sers du mot *attraction* qu'en général pour désigner la force par laquelle les corps tendent l'un vers l'autre, quelle que soit la cause de cette force. Car il faut que nous apprenions par les phénomènes de la nature quels corps s'attirent l'un l'autre, et quelles sont les lois et les propriétés de cette attraction, avant qu'il soit convenable de chercher quelle est la cause efficiente de l'attraction. » — Ailleurs, il disait : « Je considère ces principes, non comme des *qualités occultes* que l'on supposerait naître des formes spécifiques des choses, mais comme des *lois universelles* de la nature, selon lesquelles les choses mêmes ont été formées. Car il résulte des phénomènes de la nature, qu'il y a actuellement de tels principes, quoiqu'on ne puisse pas en expliquer les causes. Soutenir que chaque espèce distincte des choses est douée de qualités occultes spécifiques, par le moyen desquelles les choses ont certaines forces actives, soutenir, dis-je, une telle doctrine, ce n'est rien dire. Mais déduire des phénomènes de la nature deux ou trois principes généraux de mouvement, et ensuite expliquer comment les propriétés et les actes de toutes les choses matérielles découlent de ces principes, ce serait faire un grand progrès dans la philosophie, quoique l'on ne connût pas encore les causes de ces principes. » — Ailleurs encore Newton disait : « J'ai expliqué les phénomènes des cieux et de la mer par la force de la gravité, mais je n'en ai pas encore assigné la cause. C'est une force produite par quelque chose qui pénètre jusqu'aux centres du Soleil et des planètes sans rien perdre de sa vertu ; et elle n'agit pas proportionnellement aux surfaces des particules sur lesquelles elle agit, comme les causes mécaniques ont coutume de le faire, mais proportionnellement à la quantité de la matière solide, et son action s'étend de tous côtés à des distances immenses, diminuant toujours en raison doublée des distances (*duplicata ratione distantiarum*).... Mais je n'ai pas encore

pu déduire de ces phénomènes de la gravité la cause de ces propriétés, et je ne fais pas d'hypothèses : *Hypotheses non fingo*[1]. »

On voit par ces aveux que Newton s'attachait principalement aux forces et à leurs effets, et non point à des causes abstraites, ni à des qualités occultes. Il y avait là tout un programme tracé pour l'avenir de la science.

Malgré les critiques, assez acerbes, de Leibniz, l'édifice de Newton resta debout, et l'observation n'a fait jusqu'ici que le consolider.

1.— *Optica*, p. 322 et 344. — *Principia* (la scolie à la fin de l'ouvrage). *Recueil de pièces diverses*, t. I, p. 205).

CHAPITRE VIII.

PROGRÈS DE L'ASTRONOMIE DEPUIS LE MILIEU DU DIX-SEPTIÈME SIÈCLE JUSQU'AU MILIEU DU DIX-HUITIÈME.

Nous avons donné jusqu'ici une place assez étendue, non-seulement aux savants, mais encore à la vie des hommes qui passent à juste titre pour les fondateurs de l'astronomie moderne. Dans les chapitres qui vont suivre, nous consacrerons beaucoup moins de place à la vie qu'aux travaux de ceux qui, par leurs découvertes, ont élargi les bases de la science.

Observatoires. — Cassini.

Depuis les découvertes astronomiques de Galilée on s'empressa, sur divers points de l'Europe, de construire des observatoires. Un disciple de Tycho, Longomontanus, jeta, le 7 juillet 1632, les fondations de l'observatoire de Copenhague, qui ne fut achevé qu'en 1656 et détruit, en 1728, par un incendie. On y voyait, entre autres, le fameux globe de quatre pieds et demi, où Tycho avait dessiné les constellations. Vers la même époque, de ri-

ches amateurs élevèrent des observatoires privés, comme Bouillaud à Paris en 1628, Hévélius à Dantzig en 1641, Abdias Trew à Altorf (Bavière) en 1657.

En dédiant, en 1664, ses Éphémérides à Louis XIV, Auzout, astronome du roi, lui disait : « Sire, c'est un malheur qu'il n'y ait pas un instrument à Paris, ni que je sache dans tout votre royaume, auquel je voulusse m'assurer, pour prendre précisément la hauteur du pôle. » Deux ans après (en 1666) fut fondée l'Académie des sciences, dont Auzout devint un des premiers membres. En 1667, on commença à élever, à l'extrémité du faubourg Saint-Jacques, l'observatoire de Paris, qui fut achevé en 1671, d'après le plan de Cassini[1].

Dominique Cassini s'était de bonne heure initié à ces travaux qui, pour parler avec Fontenelle, « nous donnent des yeux, et nous dévoilent la prodigieuse magnificence de ce monde uniquement habité par des aveugles. » Lié avec Lercaro, qui devint en 1683 doge de Gênes, et avec

1. Jean-Dominique *Cassini* (né à Perinaldo en Italie en 1625, mort à Paris en 1712) succéda, en 1650, au P. Cavalieri dans la chaire d'astronomie à Bologne, et révéla son talent d'observateur à l'occasion de la comète parue à la fin de 1652 et du prolongement de la ligne méridienne dans l'église de Saint-Pétrone à Bologne. Sa renommée l'attira à Paris, où il accomplit la plupart de ses travaux. — Son fils, Jacques *Cassini* (né à Paris en 1667, mort dans sa terre de Thury en 1756), prolongea, avec son père, en 1700, jusqu'au Canigou, la mesure du méridien de Paris, et, en 1718, la partie septentrionale jusqu'à Dunkerque ; il est l'auteur des *Éléments d'astronomie*, accompagnés de *Tables astronomiques*, Paris, 1740. — Le fils de Jacques *Cassini de Thury* (né en 1714, mort en 1784), auteur de divers ouvrages géodésiques, conçut le plan de la *grande carte topographique de France*, qui ne fut terminée qu'en 1793 par son fils *Jacques-Dominique*, comte de Cassini, mort en 1845, à l'âge de quatre-vingt-dix-huit ans. Celui-ci eut pour fils *Henri-Gabriel*, comte de Cassini (mort en 1832, à l'âge de quarante-huit ans), qui se fit remarquer par des travaux d'histoire naturelle, notamment par une classification des Synanthérées. Ce fut le dernier descendant, en ligne directe, du célèbre astronome J.-Dominique Cassini.

le marquis E. Malvasia, riche amateur qui avait construit un observatoire à sa villa de Pansano, près de Modène, il fut invité à y observer la comète de 1652. Cassini avait alors vingt-sept ans. Il a raconté lui-même comment il en marquait la longitude de jour en jour. « Nous fîmes, dit-il, venir de Modène des imprimeurs, qui imprimaient mon discours à mesure que je le faisais. Ce qu'il y a de plus remarquable à cette comète, c'est qu'elle passa par notre zénith. Les observations que je fis de son cours m'autorisèrent à conclure qu'elle n'avait point de parallaxe sensible, et qu'elle était au-dessus de Saturne. Le duc François de Modène, qui était fort curieux et amateur d'astronomie, venait quelquefois à Pansano assister à nos observations et voir nos instruments. C'était pour lui plaire que le marquis de Malvasia faisait imprimer mes observations à mesure que je les faisais. Dans le traité que je composais en cette occasion sur cette comète, je ne m'éloignais guère de l'hypothèse la plus commune sur la génération des comètes, avec cette différence que j'attribuais leur origine au concours des exhalaisons tant de la Terre que des astres ; car je supposais que chaque astre a une atmosphère qui s'étend fort loin, et qui se mêle avec les atmosphères des autres astres. Mais depuis la publication de ce traité, ayant eu le loisir de comparer entre elles les observations diverses de cette comète, dont le mouvement avait paru singulièrement inégal, je reconnus qu'il pouvait se réduire à l'égalité sur une ligne circulaire fort excentrique à la Terre, et ayant vu cette comète passer par le zénith et n'avoir point de parallaxe sensible, j'estimais fort raisonnable l'hypothèse ancienne d'Apollonius Myndien, qui supposait les comètes des astres perpétuels, dont le mouvement est excentrique à la Terre et qu'elles ne sont visibles que lorsqu'elles approchent de leur périgée. »

Cassini eut bientôt une nouvelle occasion d'exercer son génie. En 1653, on répara l'église de Saint-Pétrone à

Bologne, où le dominicain Ignace Dante avait tracé, en 1575, une ligne méridienne pour avoir exactement les points d'équinoxes et de solstices, si nécessaires à la fixation des fêtes, depuis longtemps dérangées par le calendrier Julien. Cassini profita des agrandissements qu'on fit à l'édifice pour prolonger cette ligne, véritable gnomon, de manière à donner toutes les hauteurs du Soleil durant toute l'année. Il invita, pour être témoins du succès de ses observations, tous les savants de Bologne, entre autres les PP. Riccioli et Grimaldi, leur disant, dans son langage poétique, « qu'il s'était établi dans un temple un nouvel oracle d'Apollon ou du Soleil, et qu'on pouvait le consulter avec confiance sur toutes les difficultés de l'astronomie. » En effet, ce nouvel oracle lui donna l'obliquité de l'écliptique de 23 degrés 29 minutes, la réfraction horizontale de 32 à 33 minutes, et la parallaxe du Soleil d'environ 10 secondes; il lui servit aussi à déterminer la partie de la circonférence de la Terre que la longueur de la nouvelle méridienne occupait dans le ciel, déterminations qui furent plus tard vérifiées par Picard. Enfin, ses observations montrèrent que l'inégalité du mouvement apparent du Soleil ne dépend pas immédiatement de son excentricité, qui fait que son diamètre apparent paraît plus grand au périgée qu'à l'apogée[1]. L'ensemble de ses

1. « Mes observations, rapporte Cassini, firent voir que le diamètre apparent du Soleil, qui diminue en s'éloignant du périgée, ne diminue pas à proportion comme le mouvement de cet astre dans l'écliptique. Kepler l'avait déjà démontré; mais les astronomes, entre autres le P. Riccioli, n'avaient pas pu se le persuader jusqu'alors. Le savant jésuite, convaincu par mes observations, auxquelles il assistait quelquefois, revint à l'opinion de Kepler. Le tremblement assez considérable qu'éprouvait l'image du Soleil, marquée sur le pavé de notre méridienne, rendait souvent difficile la détermination exacte du diamètre. Pour plus de précision, j'avais soin de marquer sur le pavé les termes où arrivait l'élancement du Soleil, ce qui ne laissait pas encore d'être assez difficile à cause de la faiblesse de la lumière vers les extrémités de l'image. De là vient qu'on ne saurait établir une hypothèse

résultats parut, en 1656, à Bologne, sous le titre de *Specimen observationum Bononiensium, quæ novissimo in S. Petronii templo ad astronomiæ novæ constitutionem haberi cœpere.* L'auteur en fit hommage, avec un dessin de la méridienne, à la reine Christine de Suède, qui se rendait alors à Rome après son assassinat de Monaldeschi dans le château de Fontainebleau, et avec laquelle il ne cessa depuis de correspondre.

Cassini fut appelé en France par Colbert, qui y avait déjà fait venir Huygens. Arrivé à Paris, au commencement de 1669, il n'eut pas d'abord le dessein d'y demeurer. Mais, vaincu par les brillantes offres de Louis XIV, il s'y fixa pour toujours. « C'est ainsi, s'écrie Fontenelle, que la France faisait des conquêtes jusque dans l'empire des lettres. » Le plan de l'Observatoire, que Cassini avait tracé, ne fut adopté qu'en partie[1]. C'est de cet observa-

du mouvement du Soleil sans l'incertitude de quelques secondes. (Cette difficulté a été vaincue depuis par les observateurs.) Cela cependant ne m'empêcha pas de reconnaître que la variation apparente des diamètres du Soleil, dans son passage de l'apogée au périgée, est environ la moitié plus petite que l'inégalité du mouvement apparent dans le même intervalle de temps. »

1. Voici comment Cassini a exposé lui-même le plan de l'Observatoire de Paris : « Le bâtiment de l'Observatoire que le roi faisait construire pour les observations astronomiques, était élevé au premier étage lorsque j'arrivai. Les quatre murailles principales avaient été dressées exactement aux quatre principales régions du monde. Mais les trois tours avancées que l'on ajoutait à l'angle oriental et occidental du côté du midi et au milieu de la face septentrionale, me parurent empêcher l'usage important qu'on aurait pu faire de ces murailles, en y appliquant quatre grands quarts de cercle, capables par leur grandeur de marquer distinctement non-seulement les minutes, mais même les secondes; car j'aurais voulu que le bâtiment même de l'Observatoire eût été un grand instrument, ce que l'on ne peut faire à cause de ces tours qui d'ailleurs, étant octogones, n'ont que de petits flancs coupés de portes et de fenêtres. C'est pourquoi je proposai d'abord qu'on n'élevât ces tours que jusqu'au second étage et qu'au-dessus on bâtît une grande salle carrée, avec un corridor découvert tout à l'entour, pour l'usage dont je viens de parler. Je trouvais aussi

toire, dont Dominique Cassini fut le premier directeur, que sortirent d'importantes découvertes.

Vers la même époque, Charles II, roi d'Angleterre, résolut de fonder un observatoire à Greenwich ; l'exécution en fut confiée à Moor, intendant général de l'artillerie, ami de Flamsteed. C'est Moor qui conseilla à Charles II de choisir Flamsteed pour astronome royal et de lui confier la direction des travaux astronomiques du nouvel établissement, qui fut terminé en juillet 1676. Flamsteed y entra au mois d'août de la même année.

Beaucoup d'autres observatoires furent élevés depuis lors dans le voisinage des principales villes de l'Europe, telles que Leyde en 1690, Nuremberg en 1692, Bologne en 1709, Berlin en 1710, Lisbonne en 1722, Saint-Pétersbourg en 1725, Utrecht en 1727[1].

Taches et rotation du Soleil. Vues de D. Cassini sur la constitution physique de cet astre.

Avant que l'Observatoire de Paris fût en état d'être habité, Cassini avait loué une maison et un jardin rue de la Ville-Évêque (alors hors de l'enceinte de Paris). « J'y

que c'était une grande incommodité de n'avoir pas dans l'Observatoire une seule grande salle d'où l'on pût voir le ciel de tous côtés; de sorte qu'on n'y pouvait pas suivre d'un même lieu le cours entier du Soleil et des astres d'orient en occident, ni les observer avec le même instrument, sans le transporter d'une tour à l'autre. Une grande salle me paraissait encore nécessaire pour avoir la commodité d'y faire entrer le Soleil par un trou et pouvoir faire sur le plancher la description du chemin journalier de l'image du Soleil, ce qui devait servir non-seulement d'un cadran vaste et exact, mais aussi pour observer les variations que les réfractions peuvent causer aux différentes heures du jour, et celles qui ont lieu dans le mouvement annuel. »

1. Voyez Weidler, *Historia Astronomiæ*, p. 575 et suiv.

28

avais, raconte-t-il, attiré dans une maison voisine M. Couplet, qui m'avait été donné pour aide. J'aperçus là, pour la première fois, des taches dans le Soleil, dont la description fut envoyée au roi à Fontainebleau [1]. Par des observations de plusieurs jours, je déterminai la vitesse de leur mouvement apparent, j'établis une théorie qui me servit à prédire que ces taches retourneraient aux mêmes endroits du disque du Soleil après une *révolution de vingt-sept jours*. Ceux qui les avaient observées après leur première apparition, avaient jugé cette révolution à peu près d'un mois. »

Cette donnée a été complétement confirmée depuis : des observations récentes ont exactement déterminé l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs d'une tache par le centre du disque apparent; cet intervalle est d'environ $27^{j},5$. Mais, à raison du mouvement de translation de la Terre, ce temps est supérieur à celui de la rotation réelle du Soleil : il faut en retrancher deux jours solaires; la durée de la rotation réelle est donc de $25^{j},5$.

Suivant la manière de voir de Cassini, les taches solaires décrivent des cercles parallèles autour des pôles, élevés sur l'orbite du mouvement annuel de 7 degrés et demi; mais elles ne sont pas toutes visibles par nos lunettes dans leurs retours. Voici l'explication qu'en donne le grand astronome; c'est toute une théorie de la constitution physique du Soleil. « J'imagine, dit-il, que comme le globe de la Terre est composé de deux matières, l'une solide (les continents), l'autre liquide (les mers), de même le Soleil pourrait être composé de deux matières analogues à celles du globe terrestre, dont la solide serait opaque, et la liquide serait la matière de la lumière, qui couvre la plus grande partie de la matière opaque, lais-

1. Ces taches furent découvertes presque en même temps par Galilée et par Jean Fabricius, comme nous l'avons dit plus haut, p. 381.

sant seulement en quelques endroits des pointes comme sont celles de quelques rochers, qui constituent les taches apparentes. Il y a sans doute, comme dans nos mers, des flux et reflux qui élèvent, tantôt plus, tantôt moins, cette matière lumineuse, ce qui fait augmenter ou diminuer l'apparence des taches et les transforme en diverses figures en peu de temps. Celles que nous observâmes au commencement formaient d'abord la figure d'un scorpion avec ses pattes et sa queue. Un peu après, cette partie s'est détachée, et a formé des taches plus petites, séparées les unes des autres ; elles étaient enveloppées d'une espèce de nébulosité, qui représentait à notre imagination les tourbillons qui se forment autour des pointes de rochers par les marées. Il se pourrait faire aussi que, comme dans le globe de la Terre il y a des volcans qui en certains temps jettent des flammes et des cendres autour d'eux, de même il y en eût dans le Soleil. Ce que nous avons observé particulièrement, c'est que plusieurs taches du Soleil, dont nous avions déterminé la situation à l'égard de ses pôles, sont revenues quelque temps après dans la même partie de la surface du Soleil, à peu près comme le Vésuve, vu du même endroit au ciel et venant à s'enflammer, paraîtrait de nouveau dans le disque de la Terre au même point où il avait paru auparavant à l'égard des pôles de la Terre, avec la même latitude et longitude géographique, déterminée dans les révolutions faites après la première apparition, ce qui rend mes conjectures aussi vraisemblables que celles du retour des mêmes planètes aux mêmes lieux du ciel après un certain nombre de révolutions ; car ce n'est que par ce moyen que les anciens ont trouvé, par exemple, que Mercure, après avoir cessé de paraître pendant plusieurs révolutions, a été trouvé à son retour pour le même astre, et que *Phosphorus* et *Hesperus*, qui anciennement étaient censés être deux étoiles différentes, ont été reconnues pour la même planète Vénus. »

Ces observations, auxquelles s'intéressa vivement Colbert, hâtèrent l'installation de Dominique Cassini à l'Observatoire de Paris, installation qui eut lieu le 14 septembre 1672. Sa renommée attira beaucoup d'élèves étrangers, parmi lesquels nous citerons Rœmer.

Vitesse de la lumière. — Rœmer.

Les anciens croyaient que la vitesse de la lumière est infinie. Descartes partageait encore cette opinion ; et les expériences de Galilée n'étaient point propres à l'en détourner. Pourquoi ? parce que les distances, choisies à la surface terrestre, quelque grandes qu'elles soient, s'évanouissent, à moins d'employer un artifice particulier, relativement à la vitesse de la lumière. Pour mesurer cette vitesse, il fallait une échelle prise dans les espaces célestes. Les satellites de Jupiter en offrirent l'occasion à Dominique Cassini et à Rœmer[1].

Ces astronomes étaient depuis plusieurs années attentifs à observer les éclipses des quatre satellites de Jupiter. Ils constatèrent une différence très-notable entre l'observation et le calcul en ce qui concernait le premier satellite, c'est-à-dire le plus rapproché de la planète. Pour bien faire comprendre ce genre d'observations, il importe de

1. Olaus *Rœmer* (né en 1644 à Aarhuus, en Danemark, mort en 1710 à Copenhague) fut amené en France (en 1672) par Picard. Il avait aidé cet astronome à déterminer exactement les coordonnées géographiques de l'observatoire de Tycho-Brahé à Uranibourg. Il devint membre de l'Académie des sciences, enseigna l'astronomie au grand dauphin et eut un logement à l'Observatoire. En 1681, il fut rappelé dans sa patrie, pour occuper la chaire de mathématiques à Copenhague. Rœmer ne publia aucun ouvrage de son vivant. Après sa mort ses manuscrits furent réunis par un de ses élèves, Horrebow, et publiés sous le titre de *Basis Astronomiæ, sive Triduum*, etc., *Beati Rœmeri*, etc., Copenhague, 1735, in-4°.

rappeler que Jupiter, comme toute planète, projette à l'opposite du Soleil un cône d'ombre : l'axe de ce cône, où la lumière ne pénètre point, est la ligne qui joint les centres des deux astres. Les satellites, de même que la planète autour de laquelle ils tournent, ne brillent que de la lumière réfléchie du Soleil : ils doivent donc disparaître dès que cette lumière ne les atteint plus, ou qu'ils pénètrent dans le cône d'ombre. Rappelons encore que, lorsque Jupiter est en *conjonction*, il est plus éloigné de la Terre qu'en *opposition* de toute la distance de la Terre au Soleil. Or, en observant près de la conjonction l'entrée (immersion) du premier des satellites dans le cône d'ombre et sa sortie (émersion) du même cône, puis faisant la même observation près de l'*opposition* de la planète, on constata, dans l'éclipse observée, un retard d'environ 10 minutes (plus exactement 10 minutes 32 secondes) sur l'éclipse *calculée :* c'était le *maximum* de la différence. D'où vint cette différence ? Cassini la fit d'abord venir « de ce que *la lumière emploie quelque temps à venir du satellite jusqu'à nous*, et qu'elle met environ sept à huit minutes à poursuivre un espace égal à un demi-diamètre de l'orbite terrestre (distance de la Terre au Soleil). »

Voilà ce que Cassini écrivait au mois d'août 1675. Il tenait la vérité ; mais il la lâcha aussitôt, parce qu'il voyait dans cette différence du calcul avec l'observation une *inégalité particulière* du mouvement synodique du premier satellite. Un raisonnement, irréprochable en apparence, le confirmait dans son erreur. Si la transmission successive de la lumière est la cause de l'inégalité observée, d'où vient, disait-il, qu'elle n'a point lieu pour les trois autres satellites ? Le fait était vrai. Mais Cassini ne se doutait pas que le mouvement révolutif du premier satellite avait seul l'uniformité indiquée par la théorie et le calcul, et que les éclipses des autres satellites étaient loin d'avoir été observées avec toute la précision désirable, à cause de la lenteur de leur mouvement et de leur pas-

sage dans le cône d'ombre. Mieux avisé que Cassini, Rœmer se douta, au contraire, de la défectuosité des Tables concernant les trois autres satellites, et attribua résolûment l'irrégularité du premier à la différence de l'espace que la lumière parcourt suivant que l'éclipse de ce satellite a été observée en conjonction ou en opposition. Ce fut ainsi qu'il découvrit que la lumière met environ 8 minutes pour venir du Soleil à la Terre, pour faire, en un mot, un trajet d'environ 37 millions de lieues. Voilà une de ces découvertes dont les anciens n'auraient pas même pu concevoir la possibilité.

Invention du télescope. — Zucchi. Gregory. Cassegrain. Newton.

Si l'on applique, conformément à l'étymologie, le nom de *télescope* (de τηλοῦ, loin, et σκόπτομαι, je vois) à tout instrument avec lequel on voit les objets éloignés comme s'ils étaient rapprochés de nous, celui que Galilée dirigea le premier vers le ciel, aura été un télescope. Mais il vaut mieux restreindre le nom de *télescope* à l'instrument où les objets lointains se voient grossis par *réflexion*, et conserver le nom de *lunette* à l'instrument où ils se voient grossis par *réfraction*.

Le télescope est donc d'invention plus récente que la lunette. Le *P. Zucchi*, jésuite italien, paraît avoir le premier appliqué une lentille oculaire à l'observation d'une image engendrée par réflexion sur un miroir métallique concave. Dans un ouvrage imprimé à Lyon en 1652, sous le titre d'*Optica philosophica*, le P. Zucchi dit « qu'il lui vint en pensée, en 1616, d'employer des miroirs concaves de métal à la place des objectifs de verre, pour obtenir par la réflexion les mêmes effets qu'on produit par la réfraction, et qu'ayant appliqué une lentille concave à l'observation de l'image formée au foyer d'un miroir qui

s'était accidentellement rencontré sous sa main, il se trouva avoir formé un instrument avec lequel il put observer, comme avec les lunettes découvertes sept ans auparavant, les objets terrestres et célestes. » Mais comme l'auteur ne parle d'aucune de ces dispositions nécessaires pour empêcher la tête de l'observateur d'intercepter une grande partie des rayons qui doivent former l'image focale, il est probable qu'aucun instrument de ce genre n'avait été exécuté avant Gregory et Newton.

Jacques *Gregory* [1] avait remarqué que les verres sphériques ne peignent pas les images des objets dans un même plan perpendiculaire à l'axe de la lunette, mais que ces images sont courbes et concaves du côté de l'objectif. Ce fut pour obvier à cet inconvénient qu'il songea à substituer aux verres les miroirs métalliques. Le télescope qu'il inventa devait se composer de deux miroirs concaves : l'un parabolique, placé au fond du tube, devait former à son foyer l'image des objets éloignés ; l'autre, elliptique, plus petit, devait coïncider par son foyer avec celui du miroir parabolique, recevoir les rayons sortant de l'image et produire ainsi une seconde image identique

1. J. *Gregory* (né à Aberdeen en 1638, mort en 1675) donna la description de son télescope dans son *Optica promota, seu abdita radiorum reflexorum et refractorum mysteria geometrice enucleata*, Lond., 1663, in-4°. Pendant son séjour à Padoue, il publia, sous le titre de *Vera circuli et hyperbolæ quadratura*, in-4°, sa nouvelle méthode analytique pour sommer une série infinie convergente, par laquelle l'aire de l'hyperbole et celle du cercle peuvent être calculées à 1 degré près. Ce mémoire fut réimprimé à Venise avec un autre, intitulé : *Geometriæ pars universalis, inserviens quantitatum curvarum transmutationi et mensuræ*. Son travail sur la quadrature du cercle fut attaqué par Huygens ; il s'éleva une vive controverse, à la suite de laquelle il perfectionna le développement de ses séries et publia bientôt après ses *Exercitationes geometricæ*, Lond., 1668. En 1674, il fut appelé à la chaire de mathématiques à Edimbourg, et, en octobre de l'année suivante, pendant qu'il examinait au télescope (à Edimbourg) les satellites de Jupiter, il fut subitement frappé de cécité, et mourut peu de jours après, dans sa trente-septième année.

qu'on aurait regardée avec un oculaire placé au sommet percé du miroir parabolique. En 1665, Gregory vint à Londres pour y faire exécuter le télescope de son invention. Il s'y lia d'amitié avec Collins, qui le mit en rapport avec les plus habiles ouvriers de la capitale. Mais il fut bientôt arrêté par l'impossibilité de se procurer des surfaces polies, parfaitement sphériques. Découragé par ses essais, il se mit à voyager en Italie.

En 1672, *Cassegrain*, professeur de physique au collége de Chartres, modifia la forme du télescope proposé par Gregory, en substituant au petit miroir concave un miroir convexe. Par cet artifice, le télescope devenait un peu plus court; car le petit miroir convexe, substitué au petit miroir concave, devait être plus rapproché du grand miroir que le foyer principal de celui-ci. Le télescope de Gregory, ainsi modifié, donna plus d'éclat aux images. On a expliqué cette supériorité par la circonstance que les rayons se réfléchissent sur le petit miroir convexe avant de s'être croisés, et en admettant qu'une partie des rayons s'éteint dans l'acte de leur croisement[1].

Dans la même année où Cassegrain modifia l'instrument de Gregory, Newton présenta, le jour de son élection à la Société Royale de Londres, un télescope à réflexion, exécuté de ses propres mains. En l'essayant, on reconnut que cet instrument surpassait de beaucoup les lunettes de même dimension en netteté et en pouvoir amplificatif.

Dans le télescope newtonien, l'image, produite au foyer d'un grand miroir concave, est réfléchie latéralement à l'aide d'un petit miroir qui, n'ayant pas besoin d'être plus grand que l'image elle-même, n'intercepte qu'une faible partie des rayons tombant sur le grand miroir. C'est dans cette position latérale que l'image est observée avec des lentilles oculaires, semblables à celles des lunettes astronomiques.

1. Arago, *Astronomie populaire*, t. I, p. 159.

Bien que les essais qu'on avait faits avec ce télescope fussent tout à fait encourageants, il se passa encore bien des années avant qu'on l'introduisît définitivement dans la pratique de l'astronomie.

Les premiers micromètres. — Malvasia, Auzout et Picard.

Dès que l'usage des lunettes astronomiques et des télescopes commença à se répandre, on sentit le besoin d'un petit appareil, d'un *micromètre*, adapté à ces instruments, pour mesurer les objets qui venaient s'y peindre, surtout pour mesurer plus exactement les diamètres apparents du Soleil, des planètes et des satellites. Jusqu'alors on s'était contenté d'évaluer les angles que ces astres sous-tendent en comparant leurs images focales aux images de cercles de papier d'une grandeur connue et qui étaient placés à des distances déterminées.

Huygens substitua à ces procédés primitifs une méthode nouvelle, plus exacte, dont il donna la description dans son *Systema Saturninum* (La Haye, 1659). Cette méthode consistait à placer au foyer commun de l'objectif et de l'oculaire d'une lunette une lame de cuivre triangulaire, mobile entre deux coulisses établies aux deux côtés opposés du tube. En faisant glisser la lame, on cherchait dans quelle partie elle couvrait exactement le diamètre de la planète observée ; la largeur de la lame en ce point, comparée au diamètre de la pièce circulaire qui terminait le champ, et dont la valeur en minutes et secondes était déduite du temps du passage d'une étoile équatoriale, faisait connaître le diamètre cherché. Il n'y eut guère qu'Huygens qui fit usage de ce micromètre.

En 1662, le marquis *Malvasia*, sénateur de Bologne, décrivit, dans la Préface de ses *Éphémérides*, un micro-

mètre de son invention. Ce micromètre, qui fut employé par T. Mayer dans son beau travail sur la libration de la Lune, se compose de plusieurs fils d'argent déliés, se croisant à angles droits. Le champ de la lunette se trouve ainsi divisé en petits espaces rectangulaires, dont les dimensions en minutes et secondes étaient déterminées par le temps qu'une étoile connue employait à les parcourir.

Au lieu du grand nombre de fils dont se composait le micromètre de Malvasia, *Auzout* et *Picard* imaginèrent[1], en 1666, de n'employer que deux fils dont l'un était fixé au corps de la lunette, tandis que l'autre pouvait se mouvoir parallèlement à lui-même au moyen d'une vis. Mais l'emploi d'une vis, dont les pas pouvaient être difficilement réglés avec une précision mathématique, exposait l'observateur à des erreurs d'autant plus graves qu'il n'avait aucun moyen de les corriger. C'est pourquoi Picard préférait, après chaque mesure, déterminer l'écart des deux fils, en transportant tout l'appareil sur une règle dont il observait les divisions à l'aide d'un microscope. Le micromètre ainsi modifié devint bientôt d'un usage général.

Mais on ne s'arrêta point là : pour réduire la grosseur des deux fils entre lesquels l'astre devait être compris, on substitua des fils de cocon de soie aux lames et aux fils métalliques. Hooke employa des cheveux, et Lahire ces filaments de verre flexible qu'on obtient si facilement à la lampe de l'émailleur. Plus tard, les fils de soie, les cheveux, etc., furent remplacés par les diagonales des toiles d'araignée, auxquelles on a depuis préféré les fils de platine extrêmement déliés qu'on obtient par un ingénieux procédé de Wollaston. Enfin, dans ces derniers temps, on est parvenu à se dispenser de toutes les précautions minutieuses qu'exigeait l'emploi du micromètre d'Auzout et de Picard : on peut maintenant regarder les tours de la vis, dans quelque sens qu'on l'ait fait mouvoir,

1. Voyez t. VII des *Mémoires* de l'Académie des sciences, année 1667.

comme la mesure de l'intervalle des fils, et lire immédiatement la valeur du diamètre qu'on observe sur le cadran à grandes dimensions dont la tête de la vis est munie[1].

Lunette méridienne. Horloges à pendules.—Huygens.

Établir une lunette à demeure dans le plan du méridien et mobile autour d'un axe, était une idée tellement simple qu'elle aurait dû se présenter déjà à l'esprit de Galilée. Cependant elle ne fut réalisée que par Rœmer vers l'an 1700. La lunette méridienne, combinée avec la pendule sidérale, est depuis lors employée dans tous les observatoires pour noter le passage d'un astre au méridien, pour en prendre l'*ascension droite*.

Un instrument destiné à mesurer exactement le temps est absolument indispensable aux astronomes. Les clepsydres et les sabliers remplissaient très-imparfaitement ce but. Depuis que Galilée avait découvert l'isochronisme des oscillations du pendule, les astronomes essayèrent de s'en servir : un aide comptait les oscillations fournies par une chaînette qu'il faisait mouvoir et à l'extrémité de laquelle était suspendu un poids. C'était là un procédé aussi infidèle que fastidieux. Pour y remédier, Huygens supprima d'abord l'aide-compteur, et donna au rouage des horloges un mouvement régulier, uniforme, par le mécanisme suivant : Une tige de fer, au bas de laquelle est suspendu un poids et qui représente le pendule, communique en haut un mouvement alternatif à un essieu garni de deux petites palettes (le régulateur), disposées de manière qu'à chaque oscillation elles ne laissent passer qu'une dent de la roue avec laquelle elles s'engrènent. De là, pour les roues de l'engrenage, un mouvement aussi uniforme que

1. Arago, *Astronomie populaire*, t. II, p. 50.

celui du pendule même. Bien plus : la pression exercée par les dents de la première roue contre les palettes du régulateur communique au pendule à peu près la même quantité de mouvement qu'il en perd à chaque oscillation par le frottement et la résistance de l'air ; l'horloge ne peut donc s'arrêter que lorsque le poids ou le ressort a cessé d'agir[1]. Tel est le principe des horloges à pendule. Huygens présenta la première horloge de ce genre aux États-Généraux de Hollande, le 16 juin 1657, et leur demanda un brevet pour son invention, qu'il a décrite dans son *Horologium*, petit traité de dix pages, placé en tête du 1er vol. de ses *Opera varia*. (Leyde, 1724, in-4°.)

Huygens songea bientôt à perfectionner son invention. Il avait remarqué qu'il n'y a pas, contrairement aux assertions de Galilée, d'isochronisme parfait entre les oscillations d'étendue inégale. Craignant que ces petites différences accumulées ne fissent à la longue une somme trop sensible, il se proposa de rendre les oscillations géométriquement égales, quelle que fût leur amplitude. Ce problème le porta à déterminer la courbe le long de laquelle un corps doit rouler afin que, de quelque point que sa chute commence, il mette toujours le même temps pour arriver au plus bas. Il trouva que cette courbe est celle que tracerait en l'air le point d'une roue roulant sur un plan uni ; en un mot, c'était la cycloïde qui jouissait de la propriété requise[2]. Il lui fallut donc inventer un

1. Suivant Young (*Lectures on natural Philosophy*, t. I, p. 181), ce fut Sanctorius qui, en 1612, employa le premier le pendule comme modérateur du rouage d'une horloge.

2. Ce genre de courbe a reçu depuis le nom de *tautochrone*. La cycloïde est la courbe *tautochrone* dans le vide et dans l'hypothèse de l'accélération uniforme des graves et des directions parallèles. Si ses directions sont convergentes vers un point, et que la pesanteur varie comme la distance au centre, la tautochrone sera, comme l'avait observé Newton, l'épicycloïde.

moyen pour faire décrire au poids du pendule une cycloïde. C'est là ce qui le conduisit à la théorie des Développées[1]. Il trouva que, pour que, dans le cas en question, le centre du pendule décrivît une cycloïde, il fallait en déterminer la Développée, et faire en sorte que le fil du pendule s'appliquât sur elle dans ses mouvements. Or cette nouvelle courbe (la Développée) était encore une cycloïde égale, mais posée en sens contraire. En conséquence, il imagina un mécanisme particulier pour faire exécuter les oscillations du pendule entre deux arcs de cycloïde. Cependant, quelque ingénieux que fût ce mécanisme, on s'aperçut bientôt qu'il était inutile dans la pratique, et qu'en faisant décrire au pendule de très-petits arcs, on obtenait une régularité suffisante même pour les horloges les plus sensibles. Huygens a donné la description de son horloge à pendule cycloïdal dans son *Horologium oscillatorium*. Paris, 1673, in-fol.

L'invention de Huygens fut vivement critiquée par R. Hooke, qui proposa de remplacer le pendule par le *balancier*. Hooke paraît aussi avoir eu le premier l'idée d'appliquer un ressort au balancier des montres, pour en régler le mouvement[2].

Découverte de l'anneau et des satellites de Saturne.

La planète Saturne se présente à une lunette faible, comme l'était celle de Galilée, sous la forme d'un astre anguleux. C'est ce qui avait fait croire à Galilée que cette

1. Voyez notre *Histoire des Mathématiques,* où se trouvent aussi plus de détails sur la vie d'Huygens.

2. Robert *Hooke* (né en 1638 à Freshwater, dans l'île de Wight, mort en 1703) rivalisait avec Huygens pour son habileté comme astronome mécanicien. Il professa l'astronomie au collége de Gresham à Londres.

planète étrange etait formée de deux satellites, faisant corps avec elle[1]. Mais quel fut son étonnement lorsqu'il vit ces prétendus satellites, qu'il avait poétiquement comparés « à des serviteurs donnés au vieux Saturne pour l'assister dans sa décrépitude, » l'abandonner soudain. Il osa, à la vérité, prédire leur retour, mais ils reparaissaient sous tant de formes diverses, qu'ils déroutèrent toutes ses conjectures. Le découragement de Galilée perce dans une lettre à Velser, de 1612. Aussi depuis cette époque le grand observateur ne s'occupa-t-il plus de Saturne.

Pendant environ quarante ans, aucun astronome ne parvint à fixer « le Protée céleste. » Hévélius lui-même, malgré la grandeur de ses télescopes, ne réussit point à s'éclairer sur « le retour périodique des phases saturnines. »

Parmi les nombreuses conjectures qui furent alors émises, il n'y a que celles de Roberval et de Cassini qui méritent d'être mentionnées. Le premier attribuait ces singulières apparences à « des amas de vapeurs réfléchissant la lumière sous l'équateur de Saturne. » Cassini en voyait la cause dans un essaim d'astéroïdes, véritables satellites fort rapprochés de l'astre et tournant autour de lui. Mais il abandonna son opinion[2] devant l'explication qu'allait donner Huygens.

Ce célèbre mécanicien astronome fabriquait lui-même ses télescopes qui, sans être d'une longueur démesurée, surpassaient tout ce qu'on avait fait en ce genre. Aussi fut-il le premier à voir Saturne entouré d'une bande lumineuse. Il constata ainsi « qu'à mesure que la planète passe dans certaines positions à l'égard du Soleil et de la Terre, les bords ou anses de la bande lumineuse s'élargissent, affec-

1. Lettre de Galilée du 13 novembre 1610, écrite à Julien de Médicis.
2. L'idée de Dominique Cassini fut reprise par son fils Jacques, dans ses *Éléments d'Astronomie*, t. I, p. 338.

tent la forme d'une ellipse allongée, et prennent l'apparence qu'aurait l'intervalle de *deux cercles concentriques, vus obliquement* ». C'est ce qui lui suggéra l'idée que ces phénomènes étaient produits par un corps lumineux et circulaire, semblable à un *anneau* incliné sur l'écliptique. Il fit cette découverte en 1655, et il l'annonça l'année suivante[1] dans une espèce d'anagramme ainsi disposée : *aaaaaaa ccccc d eeeee g h iiiiiii llll mm nnnnnnnnn oooo pp q rr s ttttt uuuuu*, ce qui, en mettant chaque lettre à sa place, signifie : *Annulo cingitur tenui, plano, nusquam cohærente, ad eclipticam inclinato*, [Saturne] est entouré d'un anneau mince, plan, nulle part adhérant, et incliné sur l'écliptique.

Personne n'ayant pu deviner cette énigme, l'auteur l'expliqua lui-même trois ans après, dans son *Systema Saturninum*. Tous les astronomes reconnurent depuis lors l'exactitude du fait[2]. Seul le P. Fabri lança, sous le pseudonyme d'*Eustachii Divini*, un libelle contre Huygens, où il contestait les observations de ce dernier, en proposant un autre système. Il se rallia cependant plus tard à l'opinion de Huygens. Nous ne dirons rien des idées de Gallet, astronome d'Avignon, qui soutenait encore, en 1684, que « toutes les apparences de Saturne, aussi bien que celles de Jupiter, n'étaient que des illusions occasionnées par les réfractions des verres. »

1. *De Saturni Luna observatio nova*, 1656, in-4°.

2. Il n'y eut des différences que dans certains détails. Ainsi, Huygens avait donné pour l'inclinaison du plan de l'anneau au plan de l'écliptique 23° 30′. Des observations, faites conjointement avec Picard en 1668, le conduisirent à une détermination plus exacte (environ 31°). Auzout aperçut, en 1662, le premier, l'ombre de Saturne sur l'anneau. D. Cassini vit, en 1675, à l'aide d'une lunette de 11 mètres, la bande obscure qui partage la largeur de l'anneau en deux parties d'une intensité dissemblable. « La partie intérieure, disait-il, est fort claire, et l'extérieure un peu obscure, la différence de teinte étant celle de l'argent à l'argent bruni. » (*Mémoires* de l'Académie des sciences, t. X, p. 583.)

Dans la même année où Huygens découvrit l'anneau de Saturne, il fit une autre découverte non moins remarquable. Laissons-le la raconter lui-même. « L'an 1655, le 25 mars, en regardant Saturne avec un tube dioptrique (lunette de 12 pieds), j'aperçus, en dehors des anses (anneau) de la planète, à l'occident et à une distance d'environ trois minutes une petite étoile (*stellulam*), située à peu près dans le plan de l'anneau. Soupçonnant que ce pourrait bien être là un corps dans le genre des quatre lunes de Jupiter, je marquai la position respective de Saturne et de cette petite étoile. Je ne m'étais pas trompé : le lendemain elle avait bougé, et je pus ainsi mesurer les jours suivants son déplacement dans un temps donné. »

Cette découverte se trouve, ainsi que celle de l'Anneau, consignée dans un petit écrit, intitulé : *De Saturni Luna* (1656). Huygens y revint dans son *Systema Saturninum*, et fixa la révolution sidérale de cette petite lune à 15 jours, 22 heures, 39 minutes. (Il n'y a une erreur que d'environ 2 minutes en moins.) — Ce satellite de Saturne, le *premier* dans l'ordre chronologique des découvertes, est le *sixième* dans l'ordre des distances à la planète. Il a reçu depuis le nom de *Titan*.

Pendant quinze ans, on ne découvrit aucun satellite. Ce ne fut qu'en octobre 1671, que Dominique Cassini découvrit le satellite le plus externe, nommé *Japhet* (le 8e dans l'ordre des distances, le 2e dans l'ordre chronologique des découvertes). Sa révolution lui parut être comprise entre 80 et 96 jours ; elle est en réalité de 79 jours, 7 heures, 53 minutes, 40 secondes.

Le 23 décembre 1672, le même observateur découvrit un nouveau satellite de Saturne, tout à côté de celui découvert par Huygens, mais plus rapproché de la planète. Il en fixa la révolution à 4 jours, 13 heures ; elle est en réalité de 4 jours, 12 heures, 25 minutes, 11 secondes. — Ce troisième satellite a reçu depuis le nom de *Rhéa*.

D. Cassini annonça le résultat de ses observations dans un mémoire intitulé : *Découverte de deux nouvelles planètes autour de Saturne;* Paris, 1673.

Ce ne fut qu'après un intervalle d'environ huit ans que D. Cassini découvrit, en mars 1684, en dedans de *Rhéa*, deux autres satellites de Saturne, nommés *Dioné* et *Tethys* (plus rapprochés de la planète) : la révolution du premier (le 4ᵉ dans l'ordre des distances) est de 2 jours 17 heures 41 minutes 9 secondes; la révolution du dernier (la 3ᵉ dans l'ordre des distances) est de 1 jour 21 heures 18 minutes 26 secondes.

Condorcet, et après lui Arago, ont en quelque sorte reproché à Huygens de s'être arrêté dans ses recherches sur les satellites de Saturne, par respect pour une vaine théorie. « Le même instrument (avec lequel Huygens avait découvert le premier satellite) aurait pu, dit Arago, servir à en apercevoir d'autres. Mais Huygens ne les chercha point : après son observation, le nombre des satellites se trouvait égal à celui des planètes de notre système. Or, selon d'anciennes opinions, à la domination desquelles le grand géomètre n'avait pas su se soustraire, il n'était pas possible que le nombre des planètes principales fût inférieur au nombre total des planètes secondaires. Des idées théoriques ont très-souvent conduit à de brillantes découvertes; ici l'effet fut diamétralement opposé[1]. »

Ce reproche ne nous semble pas tout à fait mérité. Si Huygens a fait, dans son *Systema Saturninum*, un certain rapprochement entre le nombre des six lunes (le satellite de la Terre, celui de Saturne, et les quatre satellites de Jupiter) et le nombre des six planètes alors connues (Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne), il n'y attachait aucune vue théorique. Cela est si vrai que, reve-

1. Arago, *Astronomie populaire*, t. IV, p. 462. Condorcet, *Éloge d'Huygens*.

nant sur sa découverte dans son *Cosmotheoros*, il s'exprime lui-même ainsi : « M. Cassini nous a fait voir le troisième et le cinquième satellite (de Saturne) en 1672, et plusieurs fois depuis. Il nous écrivit en 1684 qu'il venait de trouver le premier et le second (dans l'ordre des distances alors admises); mais on les aperçoit très-difficilement, et je n'oserais assurer que je les aie vus jusqu'à présent; non pas que je fasse de la difficulté d'y ajouter foi, et de les mettre au nombre des compagnons de Saturne; on peut, au contraire, conjecturer avec raison qu'un ou plusieurs de ces satellites sont encore cachés à nos yeux (*vel unam vel piures latere suspicari licet, nec deest ratio*); car, comme il y a entre les deux derniers un plus grand espace que n'exige la proportion des distances des autres, il se pourrait bien qu'un sixième satellite occupât cet espace vide, ou même qu'au delà du cinquième il y en eût d'autres qui circuleraient autour de la planète, et qu'on n'a pu voir encore à cause de leur peu d'éclat[1]. »

N'était-ce pas là laisser une belle marge aux observateurs à venir? Évidemment, si Huygens n'a découvert qu'un seul satellite de Saturne, c'est qu'à l'aide de ses instruments il lui était impossible d'en découvrir d'autres.

Taches de Jupiter, de Mars, de Vénus. Découverte de la rotation de ces astres.

En 1665, Dominique Cassini aperçut, à l'aide d'une excellente lunette, donnée par Campani, les ombres que les satellites projettent sur le disque de Jupiter, lorsqu'ils passent entre cette planète et le Soleil; et le premier il distingua ces ombres fugitives, dues aux satellites, des ombres relativement fixes, qui forment les *taches de Ju-*

1. *Cosmotheoros*, lib. II (t. III des *Opera varia* d'Huygens).

piter. Voici comment il résume lui-même ses observations sur les ombres des satellites : « Invité un jour par Campani à venir à Montecitorio voir Jupiter pour éprouver ses lunettes, aussitôt que je vis cet astre, j'aperçus sur son disque deux taches qui, étant comparées à la configuration des satellites, résultante de celle que j'avais observée le jour précédent, me firent connaître que c'étaient les ombres des deux satellites qui parcouraient le disque de Jupiter exposé à notre vue, et dont on ne voyait point le corps. J'attendis jusqu'à ce que je visse ces deux satellites sortir eux-mêmes l'un après l'autre, avec quelque intervalle de temps, du bord occidental de Jupiter, de telle sorte que je les pus comparer avec les deux taches qui restaient en arrière et que je trouvai dans la disposition qu'elles devaient avoir.... Depuis ce temps-là, devenu attentif à observer Jupiter au temps de la conjonction des satellites avec cette planète vue du Soleil, j'ai toujours aperçu les ombres à l'endroit où elles devaient paraître. Cette découverte déterminait la proportion de la distance entre Jupiter et ses satellites, à la distance du Soleil et de la Terre ; elle se trouvait à peu près conforme à celle qui résultait des hypothèses de Copernic et de Tycho-Brahé. »

Ce fut dans la même année 1665 que D. Cassini découvrit le mouvement de rotation de Jupiter. Observant une tache qui paraissait adhérente à la planète à une certaine distance du centre[1], il trouva pour la durée du

1. Cette tache adhérait à la bande méridionale, dont le centre était éloigné de celui de la planète d'un tiers de rayon. — Avec une lunette, d'un grossissement relativement faible, on aperçoit, sur le disque de Jupiter, des *bandes demi-obscures*, qui font le tour entier de la planète ; elles sont parallèles entre elles et au plan de l'orbite de Jupiter. Suivant Riccioli, ces bandes, au nombre de deux, furent pour la première fois observées à Rome par le P. Zucchi, le 17 mai 1630. Elles sont remarquables par leur permanence. D. Cassini affirmait, en 1691, qu'il les voyait depuis quarante ans. Le 16 décembre 1690 il avait

mouvement de rotation 9 heures 56 minutes. En 1672, des observations analogues, faites sur une tache qu'il croyait identique avec la première, lui donnèrent 9 heures 55 minutes 51 secondes. Cinq ans plus tard, il obtint une valeur de 9 heures 51 minutes. Ce dernier résultat, sensiblement différent des premiers, fut confirmé en 1691 par l'observation de deux taches brillantes, placées sur la bande septentrionale la plus voisine du centre. En 1692, d'autres taches donnèrent pour la durée de la révolution de l'astre 9 heures 50 minutes.

Ces différences de résultats firent supposer que les taches de Jupiter sont des nuages, suspendus dans une atmosphère très-agitée, et qu'elles ont un mouvement d'autant plus rapide qu'elles sont plus rapprochées de l'équateur de la planète. Aussi Fontenelle n'hésita-t-il pas à comparer les mouvements de ces taches à nos vents alizés. « Mais, ajoute Arago, l'assimilation me paraît porter à faux : les alizés soufflant de l'orient à l'occident, entraînent dans la même direction les nuages situés dans cette portion de l'atmosphère. Ces nuages correspondent donc, par leur déplacement en vingt-quatre heures, à des parties de plus en plus occidentales de la croûte solide de notre globe; par conséquent, un observateur qui, placé dans la Lune ou dans le Soleil, déterminerait la durée de la rotation de la Terre par l'observation d'un de ces nuages, devrait trouver un nombre plus grand que celui que

aperçu, outre les deux bandes permanentes, deux bandes méridionales et deux autres septentrionales qui ne faisaient pas le tour entier de la planète, de manière que Jupiter lui paraissait sillonné par six bandes exactement parallèles entre elles. — Que faut-il penser de l'observation de Huygens qui vit, en 1659, les deux bandes permanentes de Jupiter plus lumineuses que le reste du disque ? Ce qu'il y a de certain, c'est que ces bandes disparaissent quelquefois; elles ne sont donc permanentes que relativement. Quelle qu'en soit la cause, il existe, d'après les astronomes plus récents, dans Jupiter, sous toutes les latitudes, des matières obscures ayant une tendance à se ranger en bandes parallèles aux bandes équatoriales. (Voy. plus bas, p. 561.)

lui fournirait l'observation d'un point de la croûte solide. Or, c'est l'inverse qu'on remarque dans Jupiter[1]. »

L'axe de rotation de Jupiter est incliné de 86° 54′ sur l'orbite que cette planète décrit autour du Soleil ; il lui est donc presque perpendiculaire. Ce fait, signalé par Cassini, distingue Jupiter de toutes les autres planètes.

Les taches de *Mars*, plus permanentes que celles de Jupiter, furent aperçues, en 1636 par Fontana, en 1640 par le P. Zucchi, et en 1644 par le P. Bartoli. Mais ce ne fut qu'en 1666 que Dominique Cassini détermina le mouvement de rotation de Mars par des observations faites à Bologne. Il trouva pour la durée de ce mouvement, s'effectuant, comme celui de Jupiter, de l'occident à l'orient, 24 heures 40 minutes. Il confirma ce résultat en 1670, à l'aide d'observations faites à Paris.

Le peu d'élévation de *Vénus* au-dessus de l'horizon, jointe à d'autres conditions défavorables, ne permirent pas à D. Cassini de constater la rotation de cette planète aussi nettement que les mouvements rotatifs de Mars et de Jupiter. Ce fut le 4 octobre 1666 qu'il découvrit une première tache ; il en vit une seconde le 28 avril 1667 ; il la revit le lendemain à peu près à la même place. Ces observations, ajoutées à celles du 9, du 10 et du 13 mai 1667, lui donnèrent environ 24 heures pour la rotation de Vénus.

En 1683, D. Cassini aperçut sur le disque de Saturne des phénomènes lumineux, qui lui firent supposer que cette planète tourne également autour d'elle-même ; mais il n'obtint à cet égard aucun résultat décisif. La durée de la rotation de *Saturne* ne fut découverte qu'en 1789 par Herschel, et celle de *Mercure* ne le fut qu'en 1800 par Schrœter.

Cassini composa le premier les *Éphémérides* des satellites de Jupiter (*astres médicéens*), travail considérable en raison de la multiplicité des éléments, au nombre de

1. Arago, *Astronomie populaire*, t. IV, p. 329.

vingt-cinq. Ces Éphémérides, qui avertissaient tous les astronomes du temps des éclipses des lunes de Jupiter, furent communiquées, en 1668, par leur auteur à l'Académie des sciences, fondée deux ans auparavant

Sélénographie. — Hévélius.

L'observation d'une éclipse de Soleil (le 1er juin 1631) donna à *Hévélius* l'idée de se vouer particulièrement à l'étude de la Lune et de dresser les premières cartes sélénographiques[1]. Il avait pour cela toutes les qualités requises : une vue excellente, une main habile au dessin et à la gravure, une patience à toute épreuve et une grande dextérité à travailler le verre. Son talent d'opticien le mit, en outre, à même de se fabriquer, pour son usage, d'abord deux lunettes, l'une de six et l'autre de douze pieds

1. *Hévélius,* dont le véritable nom est *Hovel* ou *Hövelke*, naquit à Dantzig le 28 janvier 1611. Fils d'un riche brasseur, il fut d'abord destiné au commerce. Mais son goût pour les mathématiques et l'astronomie l'emporta. Pour se perfectionner dans ses études, il séjourna quelque temps à Londres et y suivit les cours de Wallis; à Paris il se lia d'amitié avec le P. Mersenne, Gassendi et Boullaud. Il revint dans sa ville natale, en 1634, après une absence de quatre ans. Seul survivant de ses frères, il géra la brasserie de son père fort âgé, devint un des magistrats de Dantzig et consacra tous ses moments de loisir à l'astronomie. Il observa le premier les *phases de Mercure,* attribua aux étoiles une lumière propre, à cause de leur scintillation, observa, le 3 mai 1661, le passage de Mercure sur le Soleil (la troisième observation de ce genre depuis l'invention des lunettes). Mais, malgré les perfectionnements qu'il avait apportés à ses instruments, il ne put découvrir l'Anneau de Saturne, et déclara ne rien comprendre aux phénomènes que présente cette planète. — En correspondance avec les principaux savants de l'Europe, Hévélius reçut, en 1660, la visite de Jean-Casimir, roi de Pologne, auquel il offrit une horloge à pendule. En 1677, il obtint du roi Jean III Sobieski, qui était également venu le voir, une pension annuelle de 1000 florins et l'exemption des redevances qu'il

de longueur, qu'il lui aurait été alors impossible de se procurer à prix d'argent. Mais à la nouvelle que Gassendi, son ami, avait aussi conçu le projet de faire des cartes lunaires, Hévélius voulut renoncer à son entreprise ; ce ne fut qu'à la prière de Gassendi, lui assurant qu'il abandonnait ce projet, qu'il reprit son travail. Il agrandit le plan qu'il s'était d'abord tracé : au lieu de se borner à la Pleine Lune, il dessina toutes les phases lunaires. Ce travail l'occupait nuit et jour : les observations qu'il avait faites la nuit, il les gravait le jour au burin sur cuivre. Les planches ainsi obtenues sont remarquables de netteté ; la gravure à l'eau forte, plus expéditive, n'aurait pas donné le même résultat. Après cinq ans de veilles laborieuses et patientes, il publia, à ses frais, l'important ouvrage qui a pour titre : *Selenographia, sive Lunæ descriptio*, etc.; *Gedani* (Dantzig), 1647, in-fol. Les cartes qui s'y trouvent, indiquent jour par jour les phases croissantes et décroissantes ; elles sont, d'après nos propres vérifications, un modèle d'exactitude.

payait au fisc comme propriétaire de brasserie. Par reconnaissance, le célèbre astronome plaça les armoiries de son royal bienfaiteur au ciel : c'est la constellation désignée sous le nom d'*Écu de Sobieski*. En 1673, il fit paraître la première partie de sa *Machina cœlestis*, qui contient la description de ses instruments et de ses observations, pour lesquelles il s'était fait aider de sa seconde femme (jeune fille de seize ans, qu'il avait épousée en 1665). Cet ouvrage fut vivement attaqué par R. Hooke qui soutenait qu'avec l'emploi combiné de la lunette et du micromètre (que Hévélius s'obstinait à rejeter) on pouvait obtenir des résultats quarante à soixante fois plus précis : c'était dire assez clairement que les observations de l'astronome allemand ne pouvaient guère être certaines qu'à une minute près. Ces attaques lui causèrent beaucoup de chagrin. A cela il faut ajouter que, le 26 septembre 1679, un incendie, occasionné par la vengeance d'un domestique, mit en cendres l'observatoire d'Hévélius, avec ses instruments, sa bibliothèque, la plupart de ses manuscrits et l'édition presque entière de la deuxième partie de sa *Machina cœlestis*. Ce malheur accabla l'astronome et abrégea sa vie : il mourut le 28 janvier 1687, à l'âge de soixante-seize ans.

Hévélius a consacré deux chapitres fort intéressants (les chap. VI et VII de sa *Selenographia*) à la description physique de la Lune. A la première vue, les taches obscures qui contrastent avec la partie brillante de la surface lunaire et qui donnent à notre satellite une physionomie particulière (deux yeux, un nez et une bouche), sont prises pour des montagnes, tandis que la partie brillante passe pour une région plate. Pure illusion : c'est tout le contraire qui est la vérité. Les taches (bien différentes des taches du Soleil) forment les parties basses, les bassins ou dépressions de la surface lunaire, tandis que les parties blanches, brillantes, constituent les saillies, les chaînes et sommets des montagnes, dont la plupart ont une forme arrondie, comme les cratères des volcans, et sont garnis de cônes au centre. Hévélius décrit très-exactement ces cratères qui donnent à la Lune un aspect aréolé ou gaufré. Comparant les aspérités lunaires avec la configuration de nos mers et de nos continents plus ou moins montagneux, qui vus de la Lune ressembleraient également à des aspérités, il a tracé de la surface lunaire une carte fort curieuse, où nous voyons marqués la mer d'Azov, la mer Caspienne, le Pont-Euxin, la mer Adriatique, la Sicile, etc. (Pag. 226 et suiv. de la *Sélénographie*.)

Mais la nomenclature topographique d'Hévélius ne fut pas adoptée. On lui a préféré celle de la carte lunaire de Grimaldi[1], que Riccioli a reproduite dans son *Almagestum novum* (p. 204 du t. I, 1re partie). Cette préférence n'est aucunement justifiée ; car Grimaldi et Riccioli considéraient, de même qu'Hévélius, les taches comme des mers ou des plaines marécageuses, parsemées d'îlots. Ainsi, en comparant les deux cartes d'Hévélius et de Gri-

1. François *Grimaldi* (né à Bologne en 1618, mort en 1663), qui découvrit le phénomène de diffraction de la lumière, eut une grande part aux travaux du P. Riccioli. Il ne faut pas le confondre avec le cardinal Grimaldi, auquel Riccioli a dédié son *Almageste*.

maldi, que nous avons sous les yeux, nous voyons que les noms de mer d'Azov (*Palus Mæotis*), de mer Caspienne, de Pont-Euxin, de mer Hyperboréenne, de Méditéranée, etc., tracés par Hévélius, ont été remplacés par ceux de *mer des Crises*, *mer de la Fécondité*, *mer de la Sérénité*, *mer du Froid*, *mer des Pluies*, etc. Ces derniers noms, donnés par Grimaldi, ont été conservés. Les pics de montagne les plus remarquables portent des noms d'astronomes et de mathématiciens, tels que *Tycho*, *Aristarque*, *Copernic*, *Kepler*, *Archimède*, etc.

Dans sa *Micrographie*, publiée en 1667, Hooke soutient que les grandes taches de la Lune sont probablement de vastes espaces couverts de végétaux analogues à nos gazons, ou à nos forêts peuplées d'arbres et d'arbrisseaux. Il appuyait son opinion sur ce que ces taches restent toujours ternes, plus ou moins verdâtres, quelle que soit la direction de la lumière solaire qui les éclaire, tandis que les montagnes environnantes, stériles, brillent d'un vif éclat.

Galilée avait, pour le rappeler, le premier remarqué que, dans les phases croissantes et décroissantes, les sommets des montagnes lunaires se détachent comme des points brillants à quelque distance de la limite de la face lumineuse, et que cette distance s'élève quelquefois à un 20e du diamètre du disque de la Pleine Lune, évaluation qui donnerait aux montagnes lunaires environ 8800 mètres de hauteur. Ce résultat parut incroyable, comparativement aux montagnes de la Terre. Aussi fut-il vivement contesté. Hévélius réduisit la distance signalée à un 26e du diamètre de la Lune, ce qui réduit les montagnes lunaires à 5200 mètres. Riccioli, au contraire, loin de diminuer, augmenta les déterminations de Galilée. Les observations de Riccioli, calculées par Keill, si elles étaient exactes, donneraient 14 000 mètres pour les plus hautes montagnes. La question en était là lorsqu'elle fut, avec beaucoup d'autres sujets, reprise vers le milieu du dix-huitième siècle.

Cométographie. — Halley.

Après s'être occupé de la Lune, Hévélius porta son attention sur les comètes, et publia ses recherches dans sa *Cometographia* (Dantzig, 1668, in-fol.), ouvrage dédié à Louis XIV. Le Ier livre contient la description de la comète de 1652, que l'auteur aperçut le premier le 20 décembre, près de l'étoile Rigel (constellation d'Orion), et qui cessa d'être visible le 8 janvier suivant. La tête de l'astre chevelu était ronde, et son diamètre un peu moindre que celui de la Pleine Lune; sa barbe avait 6 à 7 degrés de longueur. Ses éléments paraboliques furent calculés par Halley. Hévélius découvrit trois autres comètes, en 1664, 1665 et 1682, dont les éléments furent également calculés par Halley[1].

1. Edmond *Halley* (né à Haggerston près de Londres, le 29 octobre 1656, mort le 14 janvier 1742) étudia d'abord les lettres anciennes sous le célèbre helléniste Thomas Gale, à l'école de Saint-Paul, puis les mathématiques et l'astronomie à Oxford. A vingt ans, il publia, avec Flamsteed, ses *Observations sur les taches du Soleil.* A son retour de Sainte-Hélène, où il avait observé le ciel austral, il fut élu membre de la Société Royale de Londres, et chargé, en 1679, par cette savante compagnie de se rendre à Dantzig auprès d'Hévélius, pour apaiser une querelle qui s'était élevée entre cet astronome et Hooke au sujet de la construction des lunettes astronomiques. A la fin de 1681 (1682, nouveau style), il vint visiter Paris avec son ami Nelson. Ce fut sur la route entre Calais et Paris qu'il aperçut de nouveau la fameuse comète revenant du périhélie, qu'il avait observée un mois auparavant, au moment où elle allait se perdre dans les rayons du Soleil. Il compléta ses observations à l'Observatoire, nouvellement construit, et entretint depuis lors une correspondance suivie avec D. Cassini. Quelque temps après il publia le célèbre *Traité des comètes* (*Synopsis astronomiæ, qua cometarum hactenus debite observatarum motus in orbe parabolico repræsentantur, eorumque qui annis* 1680 *et* 1682 *fulsere*, etc.). De Paris Halley se rendit à Lyon, et de là en Italie, où il passa une partie de l'année 1682. Après son retour en Angleterre, il se maria et

Jusqu'à l'époque de Tycho-Brahé, qui avait observé les comètes de 1577, 1582, 1585 et 1590, on n'eut, à l'exception de quelques pythagoriciens, que des idées fausses sur les comètes que l'on continuait d'assimiler aux météores. Tycho démontra que non-seulement les comètes ne s'allument pas dans notre atmosphère, mais qu'à raison de la petitesse de leur parallaxe, elles sont bien plus éloignées de nous que la Lune. Il essaya même de représenter leur cours en les faisant mouvoir dans une orbite autour du Soleil, hypothèse à laquelle le landgrave astronome Guillaume de Hesse (qui avait observé la comète de 1558), Maestlin (qui découvrit la comète de 1580), et Kepler (qui observa les deux comètes de 1618) donnèrent leur assentiment. Cette hypothèse, qui permettait d'essayer de soumettre les mouvements des comètes au calcul, fut repoussée par les péripatéticiens, tels que Chiaramonti, Bérigard, Liceti, etc.

On est surpris de voir Dominique Cassini partager, encore au commencement de 1652, l'opinion de quelques anciens, d'après laquelle les comètes seraient une combinaison des vapeurs de la Terre et des astres. L'observation de la comète qui parut à la fin de 1652 le fit changer d'idée, en les assimilant à de véritables astres et les faisant mouvoir « dans un cercle extrêmement excentrique à la Terre[1] ».

On approchait ainsi de plus en plus de la vérité. Elle allait enfin être saisie. Voici ce que dit Hévélius dans le

s'établit à Islington. C'est là qu'il élabora sa fameuse théorie du magnétisme céleste, où il regarde le globe terrestre comme un véritable aimant. Depuis sa liaison avec Newton, ses travaux devinrent de plus en plus variés, embrassant la physique et l'astronomie, l'hydrographie et l'art naval. En 1703 il succéda à Wallis dans la chaire de mathématiques à Oxford, et en 1719 à Flamsteed dans la direction de l'observatoire de Greenwich. Ce fut là qu'il reçut la visite de la reine Caroline, femme de Georges II. Dès 1737 il sentit les atteintes de la maladie (une paralysie) qui l'enleva à l'âge de quatre-vingt-six ans.

1. Voyez plus haut, p. 430

livre IX de sa Cométographie : « Dans leur mouvement, les comètes *décrivent des paraboles*, comme des corps projetés avec force de la surface de la Terre. » On s'est emparé de ces paroles pour contester à Newton la priorité de sa découverte. La courbe que décrivent les comètes dans leur mouvement est en effet une parabole ; mais, comme l'a fait remarquer Montucla, il y a entre la théorie de Newton et celle d'Hévélius une différence radicale : suivant le premier, la comète décrit une *courbe parabolique, dont le Soleil occupe le foyer par un effet de la gravitation universelle*, tandis que, dans l'idée d'Hévélius, le Soleil n'est pas plus au foyer de l'orbite parabolique de la comète que la Terre n'est au foyer de la parabole du corps projeté d'un point de la surface du Soleil.

Relativement aux queues des comètes, Newton adopta l'opinion de Kepler, qui les attribuait aux parties les plus volatiles de l'atmosphère, entraînées par les rayons du Soleil. Hévélius n'était pas éloigné d'admettre que la queue d'une comète pourrait envelopper la Terre sans que l'on s'en aperçût autrement que par un affaiblissement considérable de la lumière du jour, et il était tenté de supposer que les ténèbres qui accompagnèrent la mort de Jésus étaient dues à cette cause. Il affirmait, en outre, que les nébulosités augmentent à mesure que les comètes s'éloignent du Soleil. Newton admettait ce fait, en lui assignant une cause physique : « Les têtes des comètes doivent, disait-il, s'affaiblir ou diminuer de volume en approchant du Soleil, puisque c'est à leurs dépens que s'engendrent les queues; et, réciproquement, lorsque après le passage au périhélie les nébulosités n'ont plus à pourvoir à la formation des queues déjà parvenues à leur maximum d'étendue, elles grandissent nécessairement. »

Ce fut la comète de 1681-82 qui donna naissance à la théorie du mouvement parabolique. Cette comète fut aperçue le 4 novembre (vieux style) 1681, à Cobourg par Gottfrild Kirch, et observée depuis le 22 du même mois

par le pasteur astronome *Doerfel*, de Plauen (Saxe). Se dirigeant alors vers le Soleil, elle accéléra son mouvement jusqu'au 30 novembre (parcourant environ cinq degrés par jour); elle le retarda ensuite jusqu'à ce qu'on la perdit de vue, au commencement de décembre. Elle réapparut vers le 22 décembre, en se dégageant des rayons de Soleil, et, quelques jours après, elle parcourait de nouveau environ cinq degrés par jour. Bientôt son mouvement alla en diminuant, et elle cessa d'être visible vers le milieu de mars 1682. Cette comète remarquable coupa l'écliptique en deux points éloignés l'un de l'autre seulement de 98 degrés, savoir vers la fin du signe de la Vierge et le commencement de celui du Capricorne; pendant la durée de sa visibilité, elle traîna après elle, à son retour du Soleil, une queue qui alla jusqu'à 90 degrés. Réunissant ses observations, Doerfel constata que c'était la même comète qui après s'être approchée du Soleil, pour se cacher dans les rayons de cet astre, reparut en s'en éloignant; il prouva qu'elle avait décrit une parabole dont le foyer était occupé par le Soleil. « Ce fut, dit avec raison Montucla, une sorte de bonheur pour l'astronomie que la Terre se trouvât dans une position assez avantageuse pour voir l'approche de cette comète vers le Soleil et son retour du voisinage de cet astre. » —Ajoutons que si, dans une question de priorité, il ne faut se prononcer que sur des documents imprimés, c'est à Doerfel que revient l'honneur de la découverte du mouvement parabolique des comètes[1].

La comète de 1682, que nous venons de décrire et qui a reçu le nom de *comète de Halley*, offre un intérêt tout particulier pour l'histoire de l'astronomie. Pendant un voyage en France, Halley aperçut cette comète revenant

1. Doerfel a publié les résultats de ses observations dans un opuscule extrêmement rare, intitulé : *Astronomische Betrachtung des grossen Cometen, welcher Anno* 1681 *und* 1682 *erschienen*, etc.; imprimé à Plauen.

du périhélie, après l'avoir observée un mois auparavant quand elle allait se perdre dans les rayons du Soleil. Voici les éléments paraboliques qu'il obtint d'après la méthode de Newton : inclinaison du plan de la parabole (ellipse très-allongée) sur le plan de l'orbite terrestre (écliptique), 17° 42′; longitude du nœud ascendant (point où le plan de l'orbite cométaire coupe l'écliptique en allant du midi au nord), 50° 48′; longitude du périhélie (point du cercle gradué de l'écliptique, auquel correspond l'extrémité du grand axe le plus rapproché du Soleil), 301° 36′; distance périhélie (la distance *minima* de l'astre au Soleil, celle de la Terre étant prise pour unité), 0, 58 ; mouvement rétrograde (dirigé de l'orient à l'occident).

La même méthode de calcul, appliquée par Halley à une comète, observée soixante-quinze ans auparavant, en 1607, par Kepler et Longomontanus, donna :

Inclinaison.	Longitude du nœud.	Longitude du périhélie.	Distance périhélie.	Mouvement
17° 2′	50° 21′	301° 16′	0,58	rétrograde.

Ce sont à peu près les mêmes éléments que ceux de la comète de 1682. En remontant encore plus haut, Halley trouva que la comète de 1531, observée soixante-seize ans avant 1607 par Apian à Ingolstadt, présentait à peu près les mêmes éléments (inclinaison 17° 56′, longitude du nœud 49° 25′, longitude du périhélie 301° 39′, distance périhélie 0,57, mouvement rétrograde). De ces trois coïncidences, le sagace astronome conclut que la comète de 1682 devait être la même que la comète de 1607 et que celle de 1531. Non content de cette idée hardie, il alla jusqu'à prédire l'apparition de ce même astre pour la fin de 1758 ou le commencement de 1759. L'événement justifia la prédiction : la comète passa au périhélie le 12 mars 1759 dans les lieux assignés et avec les éléments paraboliques calculés d'avance par Clairaut. Plus de doute sur la *périodicité* de la *comète de Halley*. Parcourant une courbe

fermée (ellipse très-allongée), elle commença une ère nouvelle dans l'astronomie cométaire.

La comète de Halley, la première des comètes périodiques connues, aurait coïncidé, suivant W'histon, avec le déluge de Noé, et aurait, par son trop grand rapprochement de la Terre, déterminé la catastrophe dont parle la Genèse. C'est là une pure hypothèse.

Autres découvertes de Halley, concernant la Lune, le Soleil et les étoiles.

Quelque temps après l'apparition de la comète de 1682, Halley porta son attention sur un mouvement particulier très-lent de la Lune. On savait depuis longtemps que le temps employé par la Lune pour revenir à la même étoile (révolution sidérale) n'est pas constant. Mais, pour s'en apercevoir d'une façon sensible, il fallait embrasser plusieurs siècles. C'est ce que fit Halley en consultant les plus anciennes observations lunaires, jusqu'à la fin du dix-septième siècle : il faisait là, sous un autre point de vue, pour la Lune, ce qu'il avait fait pour les comètes. Il parvint ainsi à découvrir que la durée de la révolution sidérale va en diminuant, c'est-à-dire que *le mouvement de la Lune autour de la Terre s'accélère*. Cette découverte excita chez les uns l'incrédulité, chez les autres l'étonnement; car plus un astre va en s'accélérant, plus sa distance au centre d'attraction diminue, et on semblait déja entrevoir le moment de la catastrophe où la Lune tomberait sur la Terre. On sait comment Laplace dissipa cette crainte, en rattachant le mouvement signalé par Halley, et qui porte le nom d'*inégalité séculaire*, aux lois de la gravitation universelle ; il montra par le calcul, qu'à l'accélération succédera un retardement et que l'inégalité séculaire est, dans des limites relativement rapprochées,

une sorte de balancement de la Lune, subordonné à un changement dans l'excentricité de l'orbite terrestre.

Passant de la Lune aux planètes, Halley signala aussi le premier (dans *Methodus investigandi excentricitates planetarum*; Lond., 1675, in-4°) les inégalités en sens contraires qu'éprouvent Jupiter et Saturne dans leur vitesse de circulation autour du Soleil. Il estima la parallaxe du Soleil égale à 12″,5, ou au moins inférieure à 15″, en se fondant sur cette singulière considération que, si cette parallaxe était égale à 15″, la Lune serait plus grande que Mercure, ce qui troublerait l'harmonie du système du monde.

Halley découvrit, en 1718, le mouvement propre des étoiles Aldébaran, Sirius et Arcturus; mais il ne parla que de leurs variations en latitude.

Aux nébuleuses déjà connues d'Andromède, d'Orion et du Sagittaire[1], il ajouta, pour le rappeler, celle du Centaure (près de ω de cette constellation), et plus tard celle d'Hercule (entre ζ et η). Dans l'opinion de Halley, les nébuleuses ne sont que de la lumière venant d'un espace immense, situé dans les régions de l'éther, milieu diffus et lumineux par lui-même.

Cartes célestes. — Catalogues d'étoiles. Bayer. Flamsteed.

Le pasteur *Bayer* (natif d'Augsbourg, mort en 1660) donna, au commencement du dix-septième siècle, les premières cartes célestes complètes, d'après les connaissances jusqu'alors acquises. Elles parurent au nombre de 51, sous le titre d'*Uranometria;* Augsbourg, in-fol., 1603. Elles furent rééditées (gravées sur acier) en 1627, à Ulm, sous

1. Voyez plus haut, p. 404.

le titre de *Cœlum Stellatum Christianum*, où l'éditeur Jules Schiller n'a fait que substituer des figures de personnages bibliques aux figures mythologiques de Bayer. Au lieu d'appliquer aux étoiles de chaque constellation des noms arabes ou latino-barbares, Bayer les désigna par les lettres de l'alphabet grec, en les appelant par ordre de grandeur ou d'éclat, α (1[re] grandeur), β (2[e] grandeur), γ (3[e] grandeur), etc. Cette innovation heureuse fut universellement adoptée[1]. Ce n'est que de nos jours que les lettres grecques ont été remplacées par des chiffres.

L'atlas de Pardies en 6 feuilles, publié en 1673, n'ajouta rien à l'astrognosie.

Les Catalogues où les étoiles sont déterminées de position, non-seulement les unes par rapport aux autres, mais encore relativement aux pôles et à l'équateur, renferment tous les éléments nécessaires pour former sur un globe une représentation du ciel étoilé. Ce globe pourrait presque remplacer les observations elles-mêmes, si à une grande précision il joignait des dimensions comparables à celles du globe dont se servait Tycho et qui avait dix pieds de diamètre.

Le Catalogue de Tycho, calculé et décrit par Kepler, contient les positions exactes de 1000 étoiles. Celui du landgrave Guillaume IV de Hesse, dressé avec le concours de Byrge et de Rothmann, n'en renferme que 400. Hévélius entreprit d'en porter le nombre à 3000. Mais il rencontra des difficultés très-grandes. Sachant que les

1. On a cru que l'ordre des lettres dont on s'était servi pour désigner les étoiles, au XVII[e] siècle, pourrait fournir des indices sûrs de leurs variations de grandeur et d'éclat. Mais en discutant, sous ce point de vue, les cartes de Bayer, Argelander (*De fide Uranometriæ Bayeri*) a montré qu'il était impossible de juger de l'éclat relatif des étoiles à l'époque de Bayer d'après le rang que leurs lettres occupent dans l'alphabet grec; car l'astronome d'Augsbourg s'était laissé guider dans le choix de ces lettres par la forme et la direction des constellations, plutôt que par l'éclat des étoiles elles-mêmes. (A. de Humboldt, *Cosmos*, t. III, p. 103.)

lunettes ne grossissent pas les étoiles, il se servit, pour les observer ou viser, de simples *pinnules* (dioptres), comme l'avait fait Tycho, et il perfectionna même ces instruments[1]. Dans l'idée d'obtenir une plus grande précision, il donna à ses quarts de cercle et à ses sextants des dimensions jusqu'alors inusitées (de 6 à 9 pieds de rayon), et, au lieu de les faire en bois recouvert de lames métalliques, il les fit entièrement en laiton. Ne reculant devant aucun sacrifice, il avait fait agrandir, à grands frais, son observatoire, en unissant par une plate-forme trois de ses maisons contiguës; un atelier de graveur, une imprimerie et une bibliothèque complétaient l'édifice, qui dominait de tous côtés un vaste horizon. Cependant Hévélius n'atteignit que la moitié de la tâche qu'il s'était imposée : son Catalogue contient seulement 1564 positions d'étoiles pour l'an 1660.

Le *Firmamentum Sobiescianum* est un atlas de 54 feuilles, gravées avec beaucoup de soin et publiées par Hévélius en 1690. C'est le dernier catalogue qui ait été fait d'après des observations à l'œil nu.

Le premier catalogue stellaire qui ait paru depuis l'époque où Morin et Gascoigne enseignaient de joindre des lunettes aux anciens instruments de mesure, est le Catalogue des étoiles australes d'Halley.

Dès le début de sa carrière, Halley avait conçu le projet d'un catalogue général des étoiles, plus complet et plus exact que ceux de ses prédécesseurs; mais il y renonça lorsqu'il apprit qu'Hévélius à Dantzig et Flamsteed

1. Les plus anciennes pinnules étaient de simples lames percées de trous ronds; plus tard, on leur donna la forme de tubes cylindriques, dont le bout, tourné vers l'œil, était percé d'un trou circulaire, très-petit (oculaire). On employa ensuite des pinnules fendues longitudinalement. Hévélius imagina une vis pour élargir et rétrécir à volonté la fente; les deux côtés de chaque pinnule étaient garnis de verniers, de manière à pouvoir lire quatre ou cinq fois l'observation et s'assurer de l'exactitude des divisions.

à Greenwich poursuivaient chacun de son côté la même entreprise, et il résolut alors d'explorer le ciel austral et d'ajouter aux derniers catalogues du ciel boréal toutes les étoiles qui ne s'élèvent jamais au-dessus de l'horizon, ni à Greenwich, ni à Dantzig. Il fit part de cette résolution à sir Joseph Williamson, secrétaire d'État, qui en parla à Charles II. Ce roi en fut si enchanté qu'il recommanda lui-même Halley à la Compagnie des Indes orientales pour subvenir à tous les frais nécessaires à l'entreprise. Halley s'embarqua en novembre 1676 pour l'île de Sainte-Hélène, alors la plus australe des possessions anglaises. Il y arriva trois mois après, et se mit aussitôt à installer son observatoire ; la plus longue de ses lunettes avait 24 pieds. Malheureusement des pluies fréquentes et un ciel presque constamment brumeux lui permirent à peine deux observations dans les mois d'août et de septembre ; les éclaircies duraient tout au plus une heure, et au bout d'une année il n'eut guère observé plus de 360 étoiles. Il se bornait à prendre les distances des étoiles principales aux plus brillantes des étoiles de Tycho, négligeant entièrement les hauteurs méridiennes. Le résultat de son travail parut, en 1679, à Londres, sous le titre de *Catalogus Stellarum australium, seu Supplementum Catalogi Tychonici*, etc. On a signalé comme chose assez étrange que ce catalogue ne contienne point d'étoiles au-dessus de la sixième grandeur. En réunissant quelques étoiles du Sagittaire, qui restent constamment au-dessous de notre horizon, Halley forma la constellation australe nommée le *Chêne de Charles* (*Robur Carolinum*), en souvenir de son royal bienfaiteur.

Pendant son séjour à Sainte-Hélène, Halley eut l'occasion d'observer le passage de Mercure sur le disque du Soleil; mais il convient lui-même que ces observations sont peu propres à donner la parallaxe du Soleil. Il a, avec raison, plus de confiance dans les observations du passage de Vénus, et à cette occasion il indique aux astronomes fu-

turs l'observation de cette planète, qui devait passer, en 1761, sur le disque du Soleil, comme le moyen le plus propre à déterminer la distance de la Terre au centre de notre monde.

Tous ces travaux furent de beaucoup dépassés par ceux de *Flamsteed*. Premier directeur de l'Observatoire de Greenwich, il fit paraître, en 1729, son *Atlas cœlestis* en 28 feuilles grand in-folio, magnifiquement gravées. Mais, cet Atlas étant d'un prix trop élevé (48 livres sterling), Fortin à Paris en donna, en 1776, une édition française où les dessins sont réduits au tiers de leur grandeur primitive.

A l'Atlas de Flamsteed on préfère son Catalogue des étoiles, qui parut en 1712 à Londres, sous le titre de *Historia cœlestis Britannica*, plus généralement connu sous le nom de *Catalogue Britannique*. Ce Catalogue, réédité en 1725 avec des additions et des corrections, contient 2866 étoiles.

Flamsteed avait posé, le 10 août 1675, les fondements de l'Observatoire royal de Greenwich, terminé au mois de juillet de l'année suivante; il en fut le premier directeur. L'impression de son Catalogue devint l'occasion d'une de ces guerres intestines, assez fréquentes entre les savants. On n'en connaît les détails que depuis la découverte des papiers de Flamsteed en 1833[1].

1. Jean *Flamsteed* (né le 19 août 1646 à Derby, mort le 31 décembre 1719) fut conduit par la lecture du *Traité de la Sphère* de Sacrobosco à l'étude de l'astronomie. A vingt-trois ans, il calcula une éclipse de Soleil, qui avait été omise dans les *Éphémérides* pour l'année 1670. Pendant qu'il était encore étudiant à Cambridge, en 1673, il composa un petit Traité sur les diamètres des planètes dans leur plus grande proximité et dans leur plus grand éloignement de la Terre. « Je prêtai, raconte-t-il (dans ses papiers), ce Traité à M. Newton, qui en fit usage dans le quatrième livre de ses *Principes*. » A la prière de sir Jonas Moore, qui lui avait procuré un micromètre de Townley et des lentilles de télescope, il s'occupa des Éphémérides de

la Lune. Invité par son protecteur à venir à Londres, il obtint le titre d'astronome du roi avec une pension de 100 livres, ce qui ne l'empêcha pas d'embrasser la carrière ecclésiastique. Il fut ordonné prêtre aux fêtes de Pâques 1675, peu de temps avant la fondation de l'observatoire de Greenwich. C'est là qu'il passa tous ses moments de loisir, exclusivement consacrés à l'exploration du ciel. — Ici viennent se placer quelques incidents de sa vie dont il convient de dire un mot.

Flamsteed était depuis longtemps dans les termes d'une intimité cordiale avec Newton, lorsque en 1696 commença tout à coup entre les deux savants un refroidissement dont la cause est restée inconnue. Quelques années plus tard, il voulut imprimer ses observations pour lesquelles il avait déjà dépensé des sommes relativement considérables. Le prince Georges de Danemark, qui en avait été averti, offrit, en 1704, de faire les frais de cette impression. Un comité, composé de Newton, Wren, Arbuthnot, Gregory et Riberts, fut chargé d'examiner les manuscrits de Flamsteed. Il se prononça en faveur de leur impression totale, en se réservant le soin de les classer et de les faire imprimer. Flamsteed fut en même temps sommé de livrer aux commissaires le manuscrit de son Catalogue des étoiles, encore inachevé. Indigné de ce procédé, il mit l'ouvrage sous les scellés, et obtint que les sceaux ne fussent levés qu'après l'achèvement du reste. L'impression marcha lentement; le prince Georges mourut en 1708, et le comité cessa son travail, tout en conservant les manuscrits. Flamsteed, qui avait renoncé à toute publication immédiate, fut donc très-étonné d'apprendre, en mars 1711, qu'on avait brisé les scellés et livré son Catalogue à l'impression. Il demanda immédiatement une entrevue à Arbuthnot, et celui-ci lui donna l'assurance que rien n'avait été imprimé. Mais peu de jours après il reçut plusieurs feuilles imprimées et apprit que Halley en avait montré quelques autres dans un café, se vantant même d'en avoir corrigé les erreurs. Enfin le Catalogue inachevé de Flamsteed parut sous le titre de *Historiæ cœlestis libri duo, quorum prior exhibet catalogum stellarum fixarum Britannicum novum locupletissimum, etc., observante Jo. Flamstedio, in Observatorio regio Grenovicensi, continua serie ab anno* 1676 *ad annum* 1705; Lond., 1712, in-fol. Flamsteed, outré, s'en prit à Halley et surtout à Newton. Des personnes recommandées par ce dernier devant visiter l'Observatoire, Flamsteed fut invité, dans une séance de la Société Royale, à leur montrer les instruments. Il s'y refusa, déclarant que ces instruments lui appartenaient; il reprocha en même temps à Newton de lui avoir volé ses travaux. Newton répondit par des épithètes malsonnantes, dont la moins injurieuse était celle de faquin (*puppy*). A la suite de cet échange d'injures, Flamsteed résolut d'imprimer ses observations à ses frais et réclama 175 feuilles restées entre les mains de Newton. Celui-ci refusa de les rendre. Il s'en suivit un procès dont on ignore les résultats, et qui coûta 200 livres à

Flamsteed. Après la mort de la reine Anne et du comte d'Halifax, le grand protecteur de Newton, Flamsteed, devenu plus puissant à la cour que ses adversaires, rentra, en 1715, dans la totalité de ses papiers et obtint la remise de tout ce qui restait de l'édition de Halley, 300 feuilles sur 400. Il en livra aussitot une grande partie aux flammes, appelant cet auto-da-fé « un sacrifice à la vérité céleste »; il ne se réserva de chaque volume qu'environ 90 feuilles, qu'il trouvait imprimées à son gré et qui composent une partie de son premier volume. Depuis cette époque jusqu'à sa mort, il surveilla l'impression de son ouvrage, qui ne fut achevée que par sa veuve avec le concours de Crosthwait et Abo-Sharp, et parut sous le titre d'*Historia cœlestis Britannica*, Lond., 1725, 3 vol. in-fol.

CHAPITRE IX.

PROGRÈS DE L'ASTRONOMIE DEPUIS LE MILIEU DU DIX-HUITIÈME SIÈCLE JUSQU'A NOS JOURS.

A mesure que la science avance, elle nous met à même de mieux saisir l'enchaînement des faits et de distinguer, chose si difficile, le principal de l'accessoire.

Dans le tableau d'un paysage, tous les objets sont projetés sur un même plan. Mais personne ne s'y trompe : chacun sait par sa propre expérience que les objets les plus distants, qui paraissent les plus petits, et les objets les plus rapprochés, qui paraissent les plus grands, sont séparés par des intervalles souvent très-considérables, enfin que la différence de grandeur n'est qu'un effet de perspective, une manière d'être de notre fonction visuelle, que nous avons à surveiller et à rectifier, comme tout notre outillage naturel, comprenant nos sens, nos facultés, car c'est là l'essence même de la méthode expérimentale[1].

Les illusions inhérentes au fonctionnement du sens de la vue s'étendent à toutes les régions de l'espace. Mais, dans l'impossibilité d'arpenter le Ciel comme nous pouvons

1. Cette idée, si importante, a été développée par nous dans *L'homme devant ses œuvres*, p. 107 et suivantes. (Paris, 1873, 2e édit.)

arpenter la Terre, il a fallu à l'homme des efforts séculaires pour corriger ses erreurs naturelles, pour se rendre exactement compte des effets de perspective que présente le tableau de l'univers ; et, tels que nous sommes, avec l'état actuel de notre organisation, nous n'atteindrons jamais les limites de ces investigations, qui ont pour théâtre l'espace et le temps, la matière et le mouvement réunis.

Au premier plan du tableau de l'univers figure la Terre, notre habitacle flottant, sur lequel nous voguons, inconscients de notre situation, en tourbillonnant à travers un océan sans rivage. Puis vient, au second plan, le satellite de notre planète, la Lune. Après l'astre qui marche constamment de concert avec la Terre, viennent les autres planètes, suivant les plans respectifs de leurs orbites. Parmi les planètes *internes*, c'est-à-dire parmi celles dont les orbites sont en dedans de l'orbite terrestre, la plus voisine c'est Venus, comme Mars est la plus voisine de nous parmi les planètes *externes*. En dedans de l'orbite de Vénus est situé le plan qu'occupe Mercure ; puis.... un point d'interrogation, qui signifie *cherchez*, voyez s'il n'y a pas une ou peut-être plusieurs planètes à découvrir entre Mercure et le Soleil. — En dehors de l'orbite de la Terre, entre Mars et Jupiter, il y a un vaste espace, longtemps réputé complétement désert, qu'occupe une multitude de petites planètes, planètes téléscopiques ; puis, à mesure que nous nous éloignons, en esprit, du domicile flottant auquel notre corps est inéluctablement fixé comme un végétal au sol, viennent Jupiter et ses quatre lunes, Saturne et ses huit satellites, Uranus et ses quatre compagnons, Neptune et son satellite ; enfin, il se présente ici un nouveau point d'interrogation, qui veut dire que nous ignorons si, indépendamment des planètes et comètes périodiques jusqu'à présent connues, il n'y a pas d'autres astres, non encore découverts, faisant également partie de notre système du monde.

Telles sont les pièces constitutives de *notre monde*, globes oscillants, rotatoires, qui, accessibles à nos moyens de grossissement, occupent les plans les plus rapprochés de notre planète.

Entre ces innombrables points étincelants sur lesquels, à cause de leur extrême éloignement, aucun télescope n'a prise, entre les étoiles et notre Monde, qui a le Soleil pour foyer commun de chaleur, de lumière, de mouvement et de vie, entre la plus distante de nos planètes et la plus voisine des étoiles, il y a un espace immense, insondable abîme, où toutes les comètes qui traversent notre système planétaire peuvent se mouvoir librement, soit pour nous revenir, soit pour se diriger vers d'autres mondes, attirées par des centres d'attraction inconnus. Aucun astronome ne mesurera les espaces qui séparent en réalité les étoiles les unes des autres, et qui, vues dans leur stratification la plus condensée, composent la Voie Lactée, ceinture apparente du ciel. C'est cet assemblage de centres de mondes ou de soleils, dont chacun a sans doute son cortége de planètes et de satellites, qui constitue notre Ciel étoilé, *notre univers*.

Enfin, tout à fait au fond du tableau, dans un incalculable lointain, des deux côtés et en dehors de la Voie Lactée, on aperçoit, comme à travers des brèches de notre Ciel, de nombreuses lueurs opalines, circonscrites, de formes diverses, la plupart réductibles au télescope en amas stellaires. Chacune de ces *nébuleuses*, bancs de mondes flottant dans l'océan de l'éternité, est un ciel étoilé, un *univers;* à l'œil d'un observateur, qui s'y trouverait transporté, notre ciel, notre univers n'apparaîtrait que comme un petit nuage (*nubecula*) phosphorescent, comme un amas stellaire de forme arrondie. Et le nombre de ces univers augmente avec le perfectionnement du télescope!

Cette contemplation, qui élève l'âme en mettant l'homme à sa place, nous trace en même temps le cadre qui nous reste à remplir. Mais avant de parler de notre

Monde, de notre Ciel étoilé et des univers lointains, nous devons dire un mot du perfectionnement de nos moyens d'observation ou de nos outils

Instruments astronomiques.

Pour faire de bonnes observations, il faut de bons outils, cela est de toute évidence. Les instruments dont se servaient encore les astronomes du dix-septième siècle étaient, en général, très-défectueux; aussi leurs observations sont-elles, pour la plupart, entachées d'erreurs : elles n'ont qu'une valeur relative.

Lunettes, télescopes.

La longueur qu'on donnait aux lunettes, dans le but d'en augmenter la portée, les rendait très-inc mmodes. Les lunettes de Campani, de Cassini, d'Hévélius et d'autres, avaient jusqu'à 140 pieds de distance focale. Huygens conçut l'idée de supprimer tout à fait le tuyau et de combiner, à l'aide d'un mécanisme de fils, l'oculaire avec l'objectif, de manière à pouvoir placer ce dernier au sommet d'une tour élevée, pendant que l'observateur, l'œil appliqué à l'oculaire, se serait tenu au bas de la même tour. C'est ce qu'on appelait le *télescope aérien*[1]. Mais il ne fut guère donné suite à cette idée, d'ailleurs aussi simple qu'originale.

Un défaut extrêmement grave et que l'on croyait irrémédiable, c'était la coloration irisée, le *chromatisme* des images, produit par la décomposition de la lumière tra-

1. Huygens, *Astroscopia compendiaria, tubi optici molimine liberata;* La Haye, 1684.

versant les verres de la lunette ou du télescope réfracteur. Il se présente ici un point historique dont nous devons faire ressortir l'importance.

Jusqu'au milieu du dix-huitième siècle on admettait généralement comme un axiome la célèbre proposition de Newton, d'après laquelle « toutes les substances réfringentes font diverger les couleurs prismatiques dans une proportion constante à leur moyenne réfraction[1]. » C'est en s'appuyant sur cette donnée que Newton regardait l'exécution des lentilles exemptes de chromatisme, la fabrication des lentilles *achromatiques*, comme tout à fait impossible, et il avait dès lors substitué aux *télescopes réfracteurs*, c'est-à-dire aux lunettes proprement dites, le *télescope réflecteur* ou le véritable télescope.

Euler le premier trouva la proposition de Newton trop absolue, et il pensait qu'en combinant entre eux différents verres, on pourrait arriver à supprimer le chromatisme, dont il cherchait la cause dans l'œil[2]. Dollond et Clairaut n'admirent pas d'abord cette manière de voir : ils se déclaraient pour Newton contre Euler. Chacun voulant à toute fin avoir raison, il s'en suivit une polémique aussi vive qu'embrouillée, qui fit plutôt reculer qu'avancer la solution de la question. Enfin, un physicien suédois, Klingenstierna, parvint à montrer expérimentalement que la proposition newtonienne n'est pas absolument exacte ; il découvrit que « la dispersion des couleurs de la lumière n'est pas la même lorsque les rayons moyens sont également réfractés par des milieux différents, » et il en conclut, comme donnée pratique, que les objectifs des lunettes ou des télescopes réfracteurs pouvaient être faits de telle sorte que les images formées par eux ne fussent pas affectées par la différence de réfrangibilité des rayons de lumière[3].

1. Newton, *Optique*, livre I, partie I, proposition 7.
2. *Mémoires de l'Académie de Berlin*, année 1747.
3. *Mémoires de l'Académie de Stockholm*, année 1754.

Reprenant les expériences de Klingenstierna, Dollond[1] trouva qu'en opposant à un prisme de verre ordinaire un prisme à angle variable et rempli d'eau, on voit le rayon, sortant sans coloration de la réunion des deux prismes, se réfracter, tandis que ce même rayon, quand il ne se réfracte pas (sortant de la combinaison des prismes parallèlement à sa direction initiale), forme un spectre sensiblement coloré. Après avoir ainsi reconnu que certaines combinaisons de prismes réfractaient la lumière sans la décomposer en ses rayons colorés, il ne lui resta plus de doute sur la possibilité de fabriquer des lentilles achromatiques. Il importait donc de trouver des matières propres à reproduire les effets obtenus par la combinaison de prismes ordinaires et de prismes d'eau. Dollond s'assura que deux espèces particulières de verre, le *flint-glass* et le *crown-glass*, satisfaisaient à ces conditions, et il construisit ainsi, dès 1758, les premières lunettes achromatiques[2].

Euler contesta d'abord l'exactitude des expériences de Dollond, parce qu'elles contrariaient sa théorie des couleurs ; mais il dut enfin se rendre à l'évidence, et il se joignit alors à Clairaut, à d'Alembert et à d'autres mathématiciens pour mettre la théorie d'accord avec la pratique ; mais leurs efforts échouèrent.

La fabrication des lunettes achromatiques fut pendant quelque temps une industrie exclusivement anglaise. Les

1. Jean *Dollond* (né à Spitalfields en 1706, mort à Londres en 1761) était d'origine française; sa famille s'était exilée par suite de la révocation de l'édit de Nantes, qui priva la France de l'élite de ses enfants. Dollond avait appris le métier de tisserand; mais il quitta bientôt cet état pour se livrer à l'étude des mathématiques et particulièrement à la fabrication des instruments d'optique.

2. *Philosoph. Transact.*, L, p. 733. — Le *flint-glass* ou cristal anglais contient une assez forte proportion (environ 34 pour 100) de litharge (oxyde de plomb). C'est par là surtout qu'il se distingue du *crown-glass*, qui est le verre commun.

lunettes sorties des ateliers de Ramsden rivalisaient avec celles de Dollond. Mais, au commencement de notre siècle, cette industrie passa des îles Britanniques sur le continent. Fraunhofer à Munich et Lerebours, à Paris, acquirent une grande habileté dans la fabrication de larges plaques de flint-glass et de crown-glass, exemptes de défauts. Les meilleures lunettes des observatoires de l'Europe et de l'Amérique sont sorties des ateliers de ces deux célèbres opticiens.

Les *télescopes réflecteurs*, ou télescopes proprement dits, furent remis en vogue par W. Herschel[1]. Ce grand explorateur du ciel fabriqua lui-même ses instruments; il les

1. L'un des fondateurs de l'astronomie moderne, William *Herschel* naquit à Hanovre le 15 novembre 1738. Fils d'un musicien chargé d'une nombreuse famille, il embrassa la profession de son père et s'engagea, à quatorze ans, dans les hautboïstes de la garde à pied du roi de Hanovre, qui était en même temps roi d'Angleterre. A dix-neuf ans, il quitta son pays natal et vint, à la fin de 1757, tenter la fortune à Londres. Il y gagnait péniblement sa vie à donner des leçons de musique, lorsqu'il fut engagé, comme instructeur du corps des musiciens, dans un régiment en garnison sur les frontières de l'Écosse. Après l'expiration de son engagement, il séjourna dans diverses localités de l'Angleterre, joignant à l'enseignement de la musique la direction des concerts publics et des oratorios, alors fort à la mode. En 1766, il devint organiste à Halifax et fut bientôt après attaché en la même qualité à la chapelle octogone à Bath. Ses honoraires, joints à quelques leçons lucratives, lui permirent d'acheter quelques livres pour approfondir la théorie de son art. L'harmonie musicale le conduisit bientôt à l'harmonie céleste, et lorsque les ouvrages de James Ferguson lui eurent appris les merveilles que le télescope révèle à l'œil, l'étude de l'astronomie devint pour Herschel une véritable passion. Il écrivit à Londres pour en faire venir un télescope; mais le prix de cet instrument dépassait de beaucoup ses épargnes. Loin de se laisser abattre, le pauvre organiste se mit lui-même à l'œuvre, et, après mille tâtonnements, il parvint, en 1774, à fabriquer un réflecteur de 5 pieds de foyer, avec lequel il observa l'anneau de Saturne et les satellites de Jupiter. Sept ans après, il eut le bonheur de découvrir la planète Uranus, qui reculait les limites de notre monde. Ce début éclatant attira sur Herschel l'attention de toute l'Europe; il reçut de Georges III une pension de 300 guinées et une habitation voi-

appelait *front-view-telescopes*, parce que l'observateur, placé à l'extrémité antérieure du tuyau, regardait les objets de front ou de face. Le petit miroir du télescope de Grégory[1] était supprimé dans le *front-view-telescope*, où, par l'effet d'une légère inclinaison du grand miroir sur l'axe du tuyau, l'image venait se former très-près de la circonférence de l'ouverture. L'idée de cette construction, qui rappelle celle de Jacques Lemaître, décrite, en 1732, dans le tome VI des *Machines et inventions approuvées par l'Académie des sciences de Paris*, vint à l'esprit de Herschel dès 1776[2]; il l'appliqua d'abord, mais sans succès, à un télescope de 10 pieds, puis à un autre de 20 pieds (anglais). Ces premières tentatives infructueuses lui firent porter toute son attention sur la confection des miroirs.

Herschel savait que les moindres inégalités de courbures, si difficiles à éviter, surtout celles qui se présentent aux bords de la surface réfléchissante, peuvent donner une image confuse, défaut connu sous le nom d'*aberration de sphéricité*. Au lieu d'aller en tâtonnant, comme l'avaient fait jusqu'alors tous les opticiens, il essaya de parvenir, par des procédés certains, à donner aux miroirs réflecteurs la forme de sections coniques (parabole et hyperbole), dans le but de faire disparaître l'aberration de sphéricité, qui formait alors le principal défaut des télescopes, comme l'aberration de réfrangibilité (chromatisme) avait été, avant Dollond, le grand défaut des lunettes.

sine du château de Windsor, d'abord à Datchet, puis à Slough. C'est de l'observatoire de Slough que sortirent dès lors les découvertes et les travaux du grand astronome. Comblé d'honneurs, associé à toutes les académies ou sociétés savantes, il communiqua, à l'âge de quatre-vingt-trois ans, en 1821 (il mourut le 15 août 1822), son dernier travail (*Sur 145 nouvelles étoiles doubles*) à la Société astronomique de Londres qui, depuis sa fondation, l'avait choisi pour président. Il avait épousé, en 1788, une veuve, qui ne lui donna qu'un fils, *John Herschel*, qui suivit les traces de son père.

1. Voyez plus haut, page 438.
2. *Philosophical Transactions*, t. LXXVI.

Le plus grand télescope construit par W. Herschel eut 39 pieds 4 pouces (environ 12 mètres) de longueur et 4 pieds 10 pouces (1m,47) de diamètre. Commencé à la fin de 1785, il ne fut terminé qu'en août 1789. Le roi Georges III avait pourvu à la dépense de cet instrument, dont le tuyau cylindrique était en fer et dont le seul miroir pesait plus de 1000 kilogrammes. On n'y donna pas un bal, comme on l'a dit ; mais, le 1er janvier 1840, la descendance du grand astronome, composée de huit membres (sir John Herschel et ses enfants), se réunit dans le tuyau du télescope-monstre, y entonna, assis sur des banquettes, un *requiem* commémoratif, et en scella l'ouverture hermétiquement.

Contrairement à l'opinion de plusieurs astronomes, cet énorme instrument ne fut pas tout à fait inutile à W. Herschel : il lui servit à découvrir le sixième satellite de Saturne, à voir distinctement le septième dans sa plus grande élongation occidentale, et à observer, mieux qu'il ne l'avait encore fait, les taches de cette planète. Il est vrai que W. Herschel ne fit pas souvent usage de son télescope de 39 pieds ; mais il en dit lui-même les motifs : cet instrument, malgré son admirable mécanisme, exigeait pour sa manœuvre le concours permanent de trois personnes, et lorsque les changements thermométriques étaient un peu brusques, le télescope, à cause de sa masse, ne se mettait que très-lentement au niveau de la température ambiante ; il était donc toujours en retard sur la variation thermométrique de l'atmosphère, ce qui nuisait singulièrement à la netteté de l'image focale.

Le plus grand télescope que l'on possède aujourd'hui est celui que lord Rosse a fait élever dans son parc de Parsonstorn, à Cork (Irlande) : il a 16m,76 de long et 1m,83 de diamètre ; son miroir pèse 3809 kilogrammes (environ 38 quintaux métriques). Le poids total de l'instrument est de 104 quintaux métriques, et il a coûté, dit-on, 12 000 livres sterling (300 000 fr.). Pour rendre le

miroir presqu'entièrement exempt d'aberration de sphéricité, il a fallu le façonner de manière que sur les bords il différât de la forme sphérique de $\frac{1}{400}$ de millimètre. Le télescope de lord Rosse peut donner un grossissement de 6000 fois le diamètre de l'objet visé. La Lune s'y présenterait donc comme si on la voyait à environ 15 lieues de distance.

Tous ceux qui, depuis Galilée, ont mis l'œil à une lunette ont pu se convaincre que cet instrument n'amplifie pas seulement les objets, mais encore le mouvement : l'amplification du mouvement se traduit par une accélération. Ainsi, par suite de la rotation diurne de la Terre, la Lune passe avec la rapidité d'une flèche devant le champ de vision d'une lunette d'un fort grossissement. Comment obvier à ce grave inconvénient? Il faut — et c'était facile à comprendre, — que la lunette puisse suivre l'astre, qu'elle soit montée de façon que, par exemple, dirigée à l'orient au moment du lever, elle pointe à l'occident au moment du coucher, et qu'à tous les mouvements intermédiaires, elle change d'elle-même de direction et de hauteur, afin que l'astre occupe constamment à peu près le même point devant l'objectif. Ce problème occupait depuis longtemps les artistes, lorsqu'un ingénieur français, Claude Passemant (né à Paris en 1702, mort en 1769), parvint à le résoudre en adaptant à une lunette un *mouvement d'horlogerie* qui, s'effectuant d'une manière continue et uniforme, reproduisait « le mouvement majestueux du ciel étoilé [1]. »

Cet appareil, d'une construction délicate, a été depuis lors singulièrement perfectionné. On lui a donné le nom de *parallactique* ou plutôt de *parallatique*, parce qu'il est disposé de manière à tourner, comme pied de lunette, autour d'un axe parallèle à l'axe du monde, et qu'il sert à

1. *Mémoires de l'Académie des sciences,* année 1749.

mesurer, non pas des parallaxes, mais des arcs de parallèles célestes. Lorsqu'une lunette, montée sur un pied parallatique (axe principal de rotation rendu parallèle à l'axe du monde), est établie de manière qu'en tournant autour d'un second axe perpendiculaire au premier, elle puisse être amenée à faire tous les angles imaginables avec l'axe principal (parallèle à l'axe du monde), on a ce qu'on appelle *l'équatorial*, instrument capable d'être dirigé successivement vers tous les astres du firmament et de les suivre dans leur mouvement diurne. Gambey et Brunner se sont, à notre époque, distingués dans la construction de ces instruments, dont les principaux observatoires de l'Ancien et du Nouveau Monde sont aujourd'hui pourvus. L'équatorial de l'Observatoire de Paris a été, sur les indications d'Arago[1], entouré d'un dôme rotatif, le plus grand qui existe ; mais les dépenses qu'il a occasionnées, ne paraissent pas être en rapport avec les avantages qu'on s'en était promis pour la science.

S'il est utile et nécessaire d'avoir des instruments, véritables *explorateurs* ou *chercheurs* de découvertes, susceptibles d'être dirigés, *ad libitum*, dans toutes les directions du ciel, on a dû aussi de bonne heure songer à avoir des *instruments à demeure*, fixés dans des directions données, pour prendre les deux coordonnées célestes, l'*ascension droite* et la *déclinaison*. Le *cercle mural*, ainsi appelé parce qu'il est fixé à un axe horizontal, tournant

1. François *Arago* (né en 1786 à Estagel, mort en 1853) continua en Espagne (1806-1807), avec Biot, les opérations géodésiques de Méchain et Delambre, devint en 1809 membre de l'Académie des sciences, et, en 1832, secrétaire perpétuel de cette assemblée. En 1830, il entra à la Chambre comme député des Pyrénées-Orientales et fit, en 1848, partie du gouvernement provisoire de la République. Il popularisa l'astronomie par des cours faits à l'Observatoire, dont il était directeur. Il refusa le serment au second Empire. Ses travaux scientifiques, parmi lesquels on remarque ceux qui ont pour objet la lumière, parurent, ainsi que son *Astronomie populaire*, après sa mort, par les soins de M. Barral.

sur deux coussinets placés dans l'intérieur d'un mur, sert à mesurer la *déclinaison* (boréale ou australe) des astres, c'est-à-dire leur distance à l'équateur du monde. A cet effet, une lunette est attachée à ce cercle, exactement placé dans le méridien du lieu et ayant par conséquent son axe orienté dans le sens est-ouest. On arrive ainsi, sans la moindre peine, ce à quoi les anciens n'étaient parvenus que péniblement à l'aide d'un gnomon, à savoir quels sont les lieux que le Soleil occupe successivement dans son mouvement propre apparent, combien de jours le Soleil séjourne alternativement au midi de l'équateur (déclinaison australe) et au nord de ce plan (déclinaison boréale), que c'est dans une zone comprise entre $23^0\ 27'\frac{1}{2}$ de déclinaison australe et de $23^0\ 27'\frac{1}{2}$ de déclinaison boréale qu'est contenu le plan de l'écliptique, etc.

La *lunette méridienne*, qui sert à déterminer l'*ascension droite* ou l'instant du passage des astres par le plan du méridien, est fixée de façon que son axe optique puisse prendre toutes les directions possibles dans le plan méridien du lieu où elle a été établie. L'emploi de la lunette méridienne a depuis rendu inutiles tous les instruments de la gnomonique. Mais cet emploi a exigé des mesures d'une grande précision, à commencer par celle du temps.

Les cercles muraux de Fortin et de Gambey, comme les lunettes de Lerebours et de Segretan, sont bien connus des astronomes observateurs.

Les derniers perfectionnements apportés au télescope sont dus à Léon Foucault[1]. Cet habile physicien astrono-

[1] Léon *Foucault* (né à Paris en 1819, mort en 1869) se livra à l'étude des sciences médicales, avant de suivre celle des sciences physiques. Il se fit d'abord connaître par des travaux sur la vitesse de la lumière, faits en commun avec M. Fizeau; puis il démontra la rotation de la Terre, inventa le gyroscope, perfectionna le télescope par l'argenture du miroir réflecteur, etc. Il fut, depuis 1865, membre de l'Académie des sciences.

me, trop tôt enlevé à la science, réalisa ce qu'avait vainement tenté Steinheil, de Munich : il remplaça avec avantage les miroirs métalliques par des miroirs de verre argenté, d'une forme expérimentalement appropriée [1]. « Nous n'en sommes plus, disait-il, à construire des miroirs exactement paraboliques, et nous croyons mieux faire en les terminant par une surface expérimentale qui possède expressément la propriété d'agir de concert avec le système de verres amplificateurs de l'oculaire, pour assurer la perfection de l'image résultante. » — Un grand télescope, construit sur ces données, a été installé à l'Observatoire de Paris [2].

On doit aussi à l'esprit inventif de Léon Foucault un *héliostat*, instrument destiné à réfléchir la lumière solaire dans une direction fixe et indépendante du mouvement diurne.

Pendule sidérale. — Chronomètre.

Pour la détermination du jour sidéral ou de l'ascension droite d'un astre, le choix de telle ou telle étoile comme point de départ du passage au méridien est indifférent. Mais, dans l'impossibilité de s'entendre sur ce choix, puisque les mêmes étoiles ne sont pas visibles dans les hémisphères boréal et austral, on a pris pour *cercle horaire initial* (coïncidant avec $0^h\ 0^m\ 0^s$ de la pendule sidérale) le cercle qui aboutit à l'équinoxe du printemps, c'est-à-dire au point de l'équateur que le Soleil rencontre en allant du midi au nord de ce plan.

On ignore le nom de l'artiste qui le premier substitua, dans les horloges portatives, au poids moteur le ressort plié en spirale et enfermé dans un barillet. Cette précieuse

1. Léon Foucault, *Mémoire sur la construction des télescopes en verre argenté;* Paris, 1859, in-4°.

2. A. Boillot, *L'astronomie au dix-neuvième siècle,* p. 190 (Paris, 1873).

invention paraît remonter au commencement du seizième siècle. Plus tard, Huygens, Hooke et l'abbé Hautefeuille revendiquèrent chacun l'honneur et le profit de l'invention du ressort spiral isochrone, régulateur du balancier, ce qui fit naître de vives discussions entre les divers prétendants.

Dans les *chronomètres* ou montres marines, si commodes pour la détermination de la longitude géographique, les constructeurs s'attachèrent principalement à neutraliser l'influence exercée par le moteur sur le régulateur. C'est dans ce but que fut inventé l'échappement. Harrison et Thomas Mudge, en Angleterre, Pierre Leroy, Berthoud et Bréguet, en France, firent faire, depuis le milieu du dix-huitième siècle, les plus rapides progrès à l'horlogerie, indispensable auxiliaire de l'astronomie. Cependant, quelle que soit l'habileté des constructeurs de chronomètres, « la sphère céleste est encore, a dit Arago, pour qui sait y lire, le plus direct, le plus sûr, le plus exact des instruments de longitudes. »

Micromètres.

En 1748, Bouguer, près de cent ans après Auzout[1], pour mesurer la valeur angulaire d'un astre grossi par la lunette, imagina un micromètre auquel il donna le nom d'*héliomètre*. A l'extrémité du tuyau étaient placés, l'un à côté de l'autre, deux objectifs de foyer égal et correspondant à un même oculaire. Mais à l'héliomètre de Bouguer, de même qu'à celui de Fraunhofer, on préféra les micromètres ordinaires, perfectionnés.

1. Voyez plus haut, p. 442. — D'après des documents laissés par Flamsteed, *Gascoigne*, qui perdit la vie à la bataille de Morston-More, dans les troupes de Charles I[er], inventa le micromètre avant Auzout. Il eut aussi le premier l'idée de combiner le télescope avec le quart du cercle. (Derham, *Philosophical Transactions*, année 1723.)

Rochon construisit un micromètre qui se plaçait devant la lunette et était formé de deux prismes achromatiques de cristal de roche, mobiles circulairement l'un sur l'autre. Il le modifia bientôt en n'employant qu'un seul prisme de cristal de roche, achromatisé avec deux prismes de verre ordinaire, et en le faisant mouvoir le long de l'axe dans l'intérieur de la lunette. Le nouveau micromètre de Rochon provoqua une vive polémique de la part de Maskelyne[1] et de Boscowich[2], qui revendiquaient la priorité de l'invention. Ce qu'il y eut de plaisant, c'est que l'instrument, objet d'une querelle dans laquelle intervint l'Académie, fut d'un usage à peu près nul.

W. Herschel s'attacha beaucoup à perfectionner les micromètres. Son micromètre à fil horizontal fixe (coïncidant avec un arc de parallèle) et à fil mobile, pouvant recevoir toutes les inclinaisons de 0 à 160 degrés, a été décrit dans les *Philosophical Transactions* de 1781. Herschel s'en servit avec avantage, pour trouver les angles de position, dans ses travaux sur les satellites d'Uranus et les étoiles doubles. Il lui substitua plus tard le micromètre à lampe.

1. Navil *Maskelyne* (né en 1723 à Londres, mort en 1811) publia pendant quarante-cinq ans *The nautical Almanach*, célèbres éphémérides dont il avait emprunté le plan à La Caille. Il répéta en Écosse les opérations tentées par Bouguer au Pérou pour mesurer l'attraction des montagnes.

2. Joseph *Boscowich* (né à Raguse en 1711, mort à Milan en 1787) entra dans l'ordre des jésuites, remplit, pour la cour de Rome, plusieurs missions diplomatiques, et, après la suppression de son ordre, il se fixa à Paris, où il devint directeur de l'optique de la marine. Aussi bon mathématicien qu'habile astronome, il s'est principalement fait connaître par *Opera pertinentia ad opticam et astronomiam*, etc., Bassano, 1785, 5 vol. in-4°; par *Elementa universa matheseos*, Rome, 1753, 3 vol. in-4°, et *De maculis solaribus* (Rome, 1736) où se trouve la solution géométrique du problème de l'équateur d'une planète par trois observations d'une tache. Vers la fin de sa vie le P. Boscowich fut atteint d'aliénation mentale, quitta la France, se retira à Milan et recouvra la raison peu de temps avant sa mort.

A notre époque, Brewster et Arago se sont particulièrement occupés du perfectionnement du micromètre.

Théodolite. — Sextant.

La combinaison de deux cercles gradués, servant à la fois à la mesure des angles horizontaux et des angles verticaux, dut se présenter de bonne heure à l'esprit des artistes. Aussi ignore-t-on le nom de l'inventeur de l'instrument qui réalisa cette combinaison et à laquelle on donna plus tard le nom de *théodolite*[1]. Sisson le perfectionna au commencement du dix-huitième siècle; on trouve la description de son théodolite dans Gardner, *Practical surveying improved*, et dans la *Géométrie pratique* de Maclaurin (Londres, 1745, in-8).

Le *sextant* ou arc de 60 degrés (le sixième de la circonférence, d'où le nom de *sextant*) a remplacé le *quadrant*, le quart de cercle des anciens; il est propre à mesurer des angles de 120°. Si l'arc que peut décrire l'alidade du miroir mobile, est de 45°, on aura l'*octant* (le huitième de la circonférence), propre à mesurer des angles compris entre 0° et 90°. Halley, dans un mémoire publié en 1731, fit le premier ressortir l'utilité de ces instruments pour prendre la hauteur du Soleil sur mer. Leur usage est depuis lors répandu dans toutes les marines.

Temps moyen. — Équation du temps.

Jusqu'en 1816, les horloges étaient réglées, à Paris et dans beaucoup d'autres villes, sur le *midi vrai*, c'est-à-dire

1. On a beaucoup disserté sur l'étymologie de ce nom qui, s'il vient du grec θεάομαι, *regarder*, et δόλιχος, *long*, devra s'écrire *théodolique* et non *théodolite*.

sur le passage exact du Soleil au méridien. Or on ne tarda pas à s'apercevoir que les horloges ainsi réglées tantôt avançaient, tantôt retardaient sur le midi vrai, dans le cours de l'année. Suivant le gros du public, c'était la faute des horlogers, accusés de maladresse. Les gens plus instruits ne s'y trompaient pas : le mouvement des horloges étant un mouvement égal, uniforme, ils en induisaient naturellement que l'inégalité devait venir du Soleil lui-même. Si, dans son mouvement annuel (bien distinct du mouvement diurne, qui est sensiblement uniforme), le Soleil (en réalité la Terre) se déplaçait chaque jour de la même quantité de $\frac{360^0}{365 \text{ j. } 2422} = 59' 8'',3$ (près d'un degré), sans jamais abandonner le plan de l'équateur, il serait toujours parfaitement d'accord avec les horloges bien réglées ; en d'autres termes, le *temps moyen*, qu'indiquent les horloges, serait toujours identique avec le temps que donnerait ce soleil *fictif*. Or il n'en est point ainsi. La vitesse angulaire du Soleil varie chaque jour, de manière à s'écarter d'environ 2′ en plus ou en moins de 59′ 8″. A cette inégalité il faut aussi ajouter, comme élément du problème, l'obliquité de l'écliptique. Réduire le temps inégal, indiqué par le Soleil, à un temps égal marqué par une horloge bien réglée, voilà ce qu'on a nommé l'*équation du temps*. Pour cela, il suffit de retrancher ou d'ajouter un certain nombre de minutes et de secondes (que donnent les Éphémérides) au temps vrai, en dehors des coïncidences (qui ont lieu quatre fois par an) du soleil fictif avec le Soleil réel. Mais les époques de ces retranchements et de ces additions, ainsi que des coïncidences du temps vrai avec le temps moyen [1], varient, parce que les points de l'orbite où le Soleil (la Terre) se meut ou se transporte le plus

1. C'est en décembre, avril, juin et août, aux jours désignés dans les annuaires ou almanachs astronomiques, que le temps moyen coïncide *actuellement* avec le midi vrai.

vite (périgée) et le plus lentement (apogée) se déplacent eux-mêmes, quoique très-lentement, et que l'obliquité de l'écliptique ne demeure pas constante. Le problème est donc beaucoup plus compliqué que ne se l'étaient imaginé les anciens. L'équation du temps, telle qu'elle doit être comprise d'après les éléments indiqués, n'est connue que depuis 1672, époque où Flamsteed publia une dissertation sur ce sujet, à la suite des œuvres posthumes de l'astronome Horrox.

Tables de réfraction.

Tycho-Brahé s'était persuadé, comme nous l'avons vu plus haut, que la réfraction, — nulle au zénith ou à 90 degrés, et ayant son *maximum* à l'horizon, — cessait d'être sensible à 45 degrés. Mais il a été reconnu qu'à cette hauteur elle est encore d'un peu plus d'une minute. Dominique Cassini montra le premier la nécessité d'admettre une augmentation graduelle depuis le point zéro (zénith) jusqu'à son maximum à l'horizon. Mais il se trompa en supposant à l'atmosphère une densité constante [1]. Sa Table des réfractions est fondée sur ce principe erroné.

Ce n'est guère que depuis les travaux de Bouguer (né en 1698, mort en 1758) que l'on s'est rendu mieux compte du phénomène, en partant de cette donnée fondamentale que l'atmosphère diminue de densité à mesure qu'on s'élève au-dessus du sol, que le rayon lumineux d'un astre n'arrive à l'œil que par une courbe, et que l'œil n'aperçoit les objets que dans la direction du dernier élément de cette courbe, suivant la ligne droite tangentielle. Bouguer avait observé, dans son voyage au Pérou, que la réfraction horizontale, dans la zone torride, est moindre que dans les zones

1. D. Cassini, *De solaribus hypothesibus et refractionibus Epistolæ III*; Bologne, 1666.

tempérées, et qu'elle diminue à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère par l'ascension d'une haute montagne. Il insista le premier sur la nécessité de tenir compte des variations barométriques et thermométriques pour la détermination exacte des réfractions. Enfin il donna le nom de *solaire* à la courbe que décrit le rayon lumineux en traversant l'atmosphère, courbe dont s'était déjà occupé Taylor dans son *Methodus incrementorum directa et inversa*. La théorie physico-mathématique fut depuis lors traitée par Bradley, Simpson, Euler, Lambert, T. Mayer, Lagrange, Laplace et Borda.

La *Table des réfractions* publiée par Bradley fut généralement adoptée par les astronomes de la seconde moitié du dix-huitième siècle. Lambert établit, dans les *Mémoires de l'Académie de Berlin*, année 1772, que la vapeur d'eau n'influe en rien sur la puissance réfractive de l'air, ce qui a été depuis reconnu exact. L'observation « que la chaleur diminue avec la hauteur de l'atmosphère, sensiblement en progression arithmétique, » conduisit Lagrange à une expression analytique fort simple de la réfraction. Lambert élucida le mieux la théorie de la réfraction en prenant pour point de départ l'observation des objets terrestres. Ainsi, le sommet d'une montagne paraît toujours plus élevé qu'il n'est réellement, de même qu'une étoile, vue à l'horizon, est en réalité au-dessous. Mais Lambert remarque ici, avec raison, que la réfraction à l'horizon peut varier de plusieurs minutes de degré, suivant la constitution physique de l'atmosphère. C'est ce qui explique, entre autres, pourquoi on aperçoit quelquefois du littoral de Gênes les montagnes de la Corse, tandis que ces mêmes montagnes sont invisibles dans d'autres moments. Enfin, malgré les progrès de la science, les Tables de réfraction sont encore loin d'être parfaites.

CHAPITRE X.

NOTRE MONDE.

Nous allons maintenant, sous le rapport historique, passer sommairement en revue les pièces constitutives de notre monde, depuis la Terre et la Lune qui occupent le premier plan du tableau, jusqu'à la planète la plus éloignée du Soleil, foyer de la chaleur, de la lumière, de la vie et des mouvements de notre monde.

La Terre planète.

La Terre est, de tous les astres, le seul qu'il nous soit donné d'étudier à l'aide de tous nos sens, le seul dont nous puissions scruter la matière, tant inerte qu'animée, par tous les moyens mis à notre disposition nous ne savons comment, ni par qui. De là l'origine de toutes les autres sciences qui, considérées à ce point de vue, ne sont pour ainsi dire que filles de l'astronomie

Comme planète, la Terre est placée entre Vénus et Mars. C'est de cette place, perpétuellement mobile, que, fixés à la surface d'un globe tournant, nous voyons les

autres corps célestes, et que nous apprécions leurs mouvements divers. L'illusion était inévitable. Aussi, dès son origine, l'humanité se crut-elle immobile au centre du monde. L'erreur est aujourd'hui dissipée; mais les traces en sont ineffaçables : tant qu'il y aura des langues, on parlera du lever et du coucher des astres, et on aura toujours de la peine à transporter à la Terre les mouvements que chacun, de naissance et par tradition, continue d'attribuer au Soleil.

Il a fallu, comme nous l'avons montré, bien du temps pour faire comprendre aux hommes que la Terre, notre habitacle, est un corps céleste, brillant, comme toutes les planètes, d'une lumière empruntée, et que non-seulement elle n'est pas immobile au centre du monde, mais qu'elle est douée tout à la fois d'un mouvement de rotation autour de l'axe qui passe par son propre centre, — ce qui produit l'illusion du mouvement révolutif diurne de la sphère céleste, — et d'un mouvement de translation autour de l'axe du monde, qui passe par le centre du Soleil, — ce qui produit l'illusion du mouvement annuel du Soleil. Bien que le raisonnement aussi bien que la concordance de l'observation et du calcul, bien que tout vînt à l'appui de ce double mouvement de notre domicile flottant, il n'y en eut, jusqu'aux temps les plus modernes, aucune démonstration matérielle, directe.

Au dix-septième siècle, il y avait encore beaucoup de savants qui ne croyaient pas aux mouvements de la Terre. On est surpris de voir le chancelier Bacon, l'auteur du *Novum organum*, au nombre des incrédules. Cependant les mouvements de rotation et de translation sont deux faits connexes, qui s'expliquent l'un par l'autre.

Démonstration du mouvement de translation de la Terre autour du Soleil.

En 1727, Bradley[1], en explorant le ciel avec un télescope de Huygens de 212 pieds de longueur focale, pour essayer de déterminer la parallaxe des étoiles, fut mis sur la voie d'une des plus grandes découvertes astronomiques. Rappelons d'abord que quelques astronomes du dix-septième siècle avaient déjà remarqué un petit mouvement stellaire dont ils n'entrevoyaient pas clairement la cause. Un mot d'abord sur ce mouvement lui-même, afin de mieux nous faire comprendre.

Lorsqu'on observe, par exemple, pendant un an la même étoile, on remarque qu'elle éprouve des oscillations lentes, singulières. Si l'étoile est située dans le plan de l'écliptique, on la verra pendant six mois exécuter un tout petit mouvement d'occident en orient; elle se déplacera ainsi, en totalité, de 20″ suivant une ligne droite, c'est-à-dire que la place apparente de l'étoile diffère de la place réelle d'un peu moins que la 90e partie du diamètre ap-

1. Jacques *Bradley*, né à Sherbourn (Glocestershire) en 1692, mort à Chalford en 1762, était, par sa mère, neveu de l'astronome Pound, ami de Newton. En 1721, il succéda à Keill dans la chaire d'astronomie à l'université d'Oxford. Il fit les premières observations qui le conduisirent à la découverte de l'aberration de la lumière, dans la maison de Samuel Molyneux à Kew, qui fut démolie il y a une cinquantaine d'années, et dont le souvenir a été perpétué par une inscription du roi Guillaume IV. Associé dans ses travaux à Molyneux, il découvrit, en 1727, le mouvement particulier, jusqu'alors inexpliqué, de l'étoile γ dans la constellation du Dragon et en établit approximativement la loi, à l'aide d'un secteur zénithal, élevé à Wanstead. On conserve encore au British Museum la minute de cette observation (écrite de la main même de Bradley, sur un chiffon de papier déchiré) qui amena, vers 1747, la découverte de la *nutation*. Bradley fut le principal promoteur de l'introduction du calendrier Grégorien en Angleterre; il faillit pour cela être lapidé par une population fanatique.

parent du Soleil[1]; puis, pendant l'autre moitié de l'année, on la verra se mouvoir, en sens inverse, d'orient en occident, en se déplaçant de la même quantité et en ligne droite. Si l'observation porte sur les étoiles intermédiaires entre l'écliptique et les pôles, on les verra décrire de petites courbes fermées, d'autant plus circulaires qu'elles se rapprocheront davantage des pôles de l'écliptique.

Tel est le fait général qui fut pour la première fois nettement observé par Bradley. Y voir un mouvement particulier, réel, des étoiles, ce n'était pas admissible. Mais alors comment le rattacher au mouvement de la Terre? Les observations qui conduisirent Bradley à la découverte de l'aberration de la lumière avaient été faites sur l'étoile γ de la constellation circompolaire du Dragon. Voici comment il était parvenu à expliquer le singulier mouvement qu'il avait remarqué.

Bradley se promenait un jour sur la Tamise. Le bateau à voile qu'il montait glissait rapidement à la surface du fleuve, lorsque tout à coup ses yeux se fixèrent sur un phénomène qui aurait semblé vulgaire à tout autre qu'à Bradley; chaque fois que le bateau tournait pour s'approcher ou s'éloigner du rivage, la petite girouette que portait le sommet du mât se mettait à osciller, comme s'il y avait eu un changement dans la direction du vent. Bradley vit d'abord, sans rien dire, ce phénomène se reproduire trois ou quatre fois. Enfin il rompit le silence, et témoigna aux marins sa surprise d'une régularité aussi constante dans la direction du vent, chaque fois que le bateau virait de bord. « Ce n'est pas le vent qui change ainsi, lui répondirent les mariniers; c'est la direction différente du bateau qui détermine toujours ce changement apparent. » Cette réponse fut pour lui toute une révéla-

Qu'y a-t-il d'étonnant à ce qu'un aussi petit déplacement ait si longtemps échappé aux astronomes?

tion : le mouvement combiné du bateau et du vent le fit songer au mouvement combiné de la Terre et de la lumière lancée du Soleil; car à cette époque les belles observations de Rœmer sur les éclipses des satellites de Jupiter avaient déjà fait connaître la vitesse de la lumière, estimée environ dix mille fois plus grande que celle du mouvement de translation de la Terre. Or cette différence suffisait pour expliquer les petits déplacements stellaires, en les attribuant au mouvement de translation de la Terre, combiné avec celui de la lumière des étoiles. Voilà comment Bradley fut conduit à découvrir, en septembre 1728, la cause de l'aberration. Il communiqua immédiatement le résultat de ses observations à la Société Royale de Londres (*Philosoph. Transact.*, n° 406, vol. XXXV, p. 637). Cette découverte fit une grande sensation dans le monde savant : elle démontra d'une façon irrécusable le mouvement de la Terre dans son orbite et fit ressortir la vérité du système de Copernic.

Connaissant, d'une part, la vitesse de la lumière, de l'autre le temps que la Terre emploie à faire sa révolution autour du Soleil, on a pu facilement calculer la vitesse tangentielle de translation de notre planète autour du Soleil. Cette vitesse est d'environ 8 lieues par seconde, ou, plus exactement, de 30 400 mètres (7 lieues et trois cinquièmes). Elle dépasse près de 78 fois la vitesse d'un boulet de 24 à sa sortie du canon [1], boulet qui, en conservant sa vitesse initiale, mettrait plus de 12 ans pour parcourir la distance moyenne de la Terre au Soleil. Et nous, passagers éphémères, nous n'avons aucune conscience de la prodigieuse vitesse qui transporte, sans roues ni rails, à travers l'infini de l'espace, notre véhicule planétaire, qui est lui-même entraîné par le Soleil vers des régions inconnues de l'immensité !

1. La vitesse d'un boulet de 24, à sa sortie du canon, est de 390 mètres par seconde.

On s'est demandé si le mouvement révolutif de la Terre autour du Soleil a pu varier dans le cours des siècles. Les données géologiques et astronomiques sont insuffisantes pour résoudre cette question. Une chose certaine, c'est que la vitesse de translation et la grandeur de l'orbite terrestre sont tellement liées entre elles, que l'une ne pourrait changer sans faire en même temps varier l'autre. Mais, comme on ignore si les dimensions de l'orbite sont demeurées constantes, rien ne s'oppose à croire que la vitesse de translation a pu, dans le cours des siècles, être troublée par une cause cosmique, comme le serait le choc d'une comète. Un pareil choc serait-il capable de produire une véritable révolution à la surface de notre globe?

Démonstration du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même.

Les premières expériences ayant pour objet la démonstration du mouvement rotatoire de notre planète furent faites au dix-huitième siècle, en Italie, par Guglielmi, et répétées par Benzenberg et Reich. D'après ces expériences, les corps qui tombent d'une tour élevée subissent constamment une déviation orientale, ce qui ne saurait s'expliquer qu'en admettant que la Terre tourne sur elle-même de l'occident à l'orient. Mais la démonstration irréfragable de ce mouvement n'a été donnée que de nos jours (en 1851). Elle est fondée sur un fait fort simple, que de tout temps tout le monde a pu remarquer, et dont personne, jusqu'à Léon Foucault, n'avait compris l'importance. Qu'on fasse, par exemple, osciller un pendule suspendu par un fil à un petit appareil fixé sur une planchette; le pendule continuera à se mouvoir dans le plan et dans la direction primitivement reçus, quel que soit le mouvement qu'on imprime à la planchette. Cependant si l'on marque le plan d'oscillation par

une ligne tracée sur la planchette posée à terre, on voit que ce plan se déplace, pendant que la planche reste immobile, posée par terre ou sur une table. Le déplacement du plan d'oscillation n'étant déterminé par aucune cause apparente, avait été, il est vrai, déjà observé vers le milieu du dix-septième siècle par les physiciens de l'Académie *del Cimento* de Florence[1]. Mais aucun de ces physiciens n'eut l'idée de chercher la cause de ce déplacement, en apparence spontané, dans la rotation de la Terre. C'est Léon Foucault qui, s'emparant du fait de la *fixité du plan d'oscillation*, entrevit là un moyen de démontrer *ante oculos* le déplacement graduel de la Terre tournant sur elle-même. Et il y réussit complétement. « Ce fut, dit M. Babinet, une séance académique bien remarquable que celle où M. Arago apporta (le 3 février 1851) cette brillante découverte à l'Institut et en établit les importantes déductions. La rotation de la Terre est ici manifestée sans prendre pour point de mire les objets étrangers, comme les corps célestes ou les rayons du Soleil qui tracent l'heure sur un cadran. C'était une observation à domicile et ce fut même dans une cave que l'appareil pendulaire de M. Foucault, si ingénieux et si simple, fonctionna pour la première fois[2]. »

L. Foucault répéta lui-même sa mémorable expérience, au Panthéon, devant un public nombreux. Les déplacements tracés par la pointe de l'extrémité libre d'un pendule fixé par l'autre extrémité à la voûte de l'édifice, ne pouvaient manifestement venir que du mouvement rotatoire de la Terre, puisqu'il était démontré que le plan d'oscillation demeure constamment fixe. Si l'expérience était faite aux pôles, le déplacement mettrait exactement

1. Targioni, *Notizie degli aggrandimenti delle scienze fisiche in Toscana*, t. II, 2e partie, p. 669. — Saggi, *Di naturali esperienze*, p. 20 (de l'édition de 1841). — Antinori, *Notice extraite des manuscrits autographes de Vincent Viviani*, 1851.

2. Article *Foucault (Léon)*, dans la *Biographie générale*.

vingt-quatre heures à faire le tour du cadran : le pendule oscillant serait le meilleur chronomètre. A l'équateur, le déplacement sera nul. Entre les pôles et l'équateur, la durée du mouvement révolutif du pendule varie suivant les parallèles de latitude. Tout cela est facile à comprendre quand on songe à la forme sphéroïdale de notre planète tournant sur son axe, perpendiculaire au plan de l'équateur. N'oublions pas non plus que la vitesse de rotation de la Terre n'est pas la même pour tous les points de sa surface : elle varie depuis zéro pour les points situés aux extrémités du plus court rayon (rayon polaire) jusqu'à près de 480 mètres par seconde (417 lieues par heure), pour les points situés aux extrémités du plus grand rayon (rayon équatorial).

Un autre appareil, de nature toute différente en principe, le *gyroscope*, fut déduit par L. Foucault de l'étude approfondie des lois de la rotation des corps, et surprit tout le monde par la nouveauté des résultats. Ici un corps mis en mouvement rotatoire est tout à fait isolé et librement suspendu dans l'espace. Comme le pendule, le gyroscope donne de nouvelles indications, propres à rendre sensible et à mesurer la rotation de la Terre. Mais, par une particularité bien inattendue, le gyroscope exécute des évolutions qui permettent de trouver l'orientation astronomique dans un lieu quelconque sans aucune inspection du ciel, résultat dont l'annonce eût paru fabuleuse avant la réalisation du fait[1].

Si le double mouvement, diurne et annuel, rotatoire (à raison d'environ 480 mètres par seconde pour un point situé à l'équateur) et révolutif (à raison de 30 400 mètres

1. Babinet, dans l'article cité de la *Biographie générale*, et *Comptes rendus* de l'Académie des sciences, 27 sept. 1862. — Le mouvement apparent de l'axe de rotation du gyroscope, tout à fait analogue au mouvement diurne de la sphère céleste, s'aperçoit distinctement, quand on regarde à l'aide du microscope l'une des extrémités de cet axe.

par seconde), si ce double mouvement qui, par la combinaison de la vitesse tangentielle avec l'attraction solaire, maintient la Terre dans son orbite, le long de l'écliptique, venait tout à coup à cesser par le choc d'une comète ou par une cause quelconque, notre habitacle errant tomberait en droite ligne sur le Soleil : il y arriverait après 64 1/2 jours d'une course vertigineuse.

Variation du jour sidéral.

La durée du jour sidéral, cette unité de temps fondamentale, donnée par le mouvement de rotation de la Terre, est-elle constante? Cette question n'a été soulevée que de nos jours. Suivant Delaunay[1], la durée du jour sidéral diminue, le mouvement de rotation terrestre subit un ralentissement dû à « l'action de la Lune sur les eaux de la mer, eu égard au phénomène des marées et surtout au retour de la pleine mer sur le passage de la Lune au méridien. » Cette action retardatrice servirait à expliquer la partie de l'équation séculaire de la Lune dont la cause indiquée par Laplace ne pouvait rendre compte[2].

1. Charles *Delaunay* (né à Lusigny en 1816, mort dans la rade de Cherbourg le 5 août 1872) se fit connaître par ses travaux sur la *Théorie des marées* et des *Mouvements de la Terre,* ainsi que par ses *Cours élémentaires de mécanique et d'astronomie.* Il était membre de l'Académie des sciences et directeur de l'Observatoire de Paris, quand une mort imprévue vint l'enlever à la science.

2. Delaunay, *Rapport sur les progrès de l'astronomie en France,* p. 20 (Paris, 1867).

Figure et dimensions de la Terre.

Si nous pouvions nous transporter au loin dans l'espace bien au delà des limites de notre atmosphère, nous verrions de là immédiatement la véritable forme de la Terre. En présence de certains faits, que nous avons signalés, le raisonnement essaya de remédier à notre impuissance physique, matérielle, et on parvint ainsi à reconnaître que la Terre est ronde, mobile dans l'espace comme un globe céleste, et que les montagnes dont elle est hérissée, et les vallées qui la sillonnent ne sont que de petites aspérités de sa surface. Le raisonnement seul ne suffisant pas pour établir la vérité, l'homme voulut, — *nil mortalibus arduum*, — prendre la mesure, connaître les dimensions mêmes de son domicile flottant. Quelques esprits d'élite essayèrent, depuis Ératosthène jusqu'à Fernel et Snellius, d'aborder en vrais géomètres le problème de la grandeur et de la figure de notre globe.

Ératosthène avait montré qu'en mesurant la longueur itinéraire d'un arc terrestre, correspondant à un arc céleste, on pouvait arriver à connaître la grandeur du contour entier de la Terre. Mais si la méthode était la conception d'un homme de génie, son exécution laissait encore beaucoup à désirer. Les instruments de précision manquaient. Aujourd'hui on mesure non-seulement un arc céleste avec une exactitude parfaite, mais on prend la longueur itinéraire d'un arc de méridien comme on arpente un champ, en toisant à partir d'une station donnée une première longueur qui sert de base à tout le travail, puis établissant sur cette base une suite de triangles qu'on rattache les uns aux autres jusqu'à ce qu'on soit parvenu à l'autre station. Tout cela peut aujourd'hui s'effectuer avec une telle rigueur, au moyen des outillages perfectionnés, qu'on est assuré de ne pas se trom-

per de 100 toises (200 mètres) sur la grandeur absolue du rayon terrestre moyen, qui surpasse six millions de mètres.

Nous avons déjà parlé plus haut des opérations géodésiques de Snellius, de Norwood et de Picard, d'après le procédé ératosthénique[1].

En 1671, Richer (mort à Paris en 1696) fut chargé, par l'Académie des sciences dont il faisait partie, de faire des observations astronomiques à Cayenne. Il avait constaté que son horloge, qui battait à Paris les secondes, allait plus lentement à mesure qu'il approchait de l'équateur, et s'accélérait de nouveau, par les mêmes degrés, en revenant vers le nord, de manière à reprendre exactement la marche qu'elle avait au point de départ[2]. Or Huygens avait, de son côté, observé que la vitesse des oscillations d'un même pendule augmente ou diminue avec l'intensité de la pesanteur, c'est-à-dire à mesure qu'on se rapproche ou qu'on s'éloigne du centre de la Terre. L'observation de Richer, combinée avec celle d'Huygens, prouvait que la pesanteur croissait d'intensité en allant de l'équateur au pôle, ou que la distance des pôles au centre est moindre que celle du centre à l'équateur. En réunissant ces divers résultats, Newton n'eut pas de peine à montrer que les variations observées dans l'intensité de la pesanteur décelaient un *aplatissement de la Terre* aux pôles, et en les liant à la force d'attraction, combinée avec la force centrifuge, produite par le mouvement de rotation, il présenta les autres planètes comme également aplaties aux pôles. La théorie newtonienne, d'après laquelle on pouvait calculer l'aplatissement d'une planète par l'intensité de la pesanteur à sa surface, et

[1] Voy. p. 410.

[2] L'horloge, que Richer avait réglée à Paris (sous 48° 50′ lat.) sur le moyen mouvement du Soleil, retardait de 2′ 28″ à Cayenne (sous environ 2° de lat.). Voyez t. VII des *Anciens Mémoires de l'Académie des sciences*.

par la vitesse de sa rotation, en supposant sa masse homogène, donnait, étant appliquée à la Terre, une variation de la pesanteur peu différente de celle que Richer avait trouvée. De là on pouvait conclure, ce qui a été depuis démontré par Clairaut, que la Terre est composée de couches dont la densité va en croissant de la surface au centre.

Les calculs de Newton furent d'abord les seuls indices d'un aplatissement réel de la Terre aux pôles. L'arc du méridien, mesuré par Picard, avait bien suffi pour donner la longueur du rayon terrestre à l'endroit où il avait été observé; mais cet arc était trop petit pour qu'on y pût seulement entrevoir l'effet de l'aplatissement. On espérait tirer plus de lumières de la mesure de l'arc entier qui traverse la France depuis Perpignan jusqu'à Dunkerque, mesure qui devait servir en quelque sorte d'axe à la carte générale de la France, dont Colbert avait confié l'exécution à l'Académie[1]. En conséquence, Dominique Cassini et la Hire furent, en 1863, chargés de cette grande opération, qui ne fut terminée que vers 1718, après avoir continué la mesure de Picard jusqu'à Dunkerque et Collioure. Elle fut vérifiée, en 1739, de Dunkerque à Perpignan par Cassini de Thury. Mais, dans l'état d'imperfection où se trouvaient les instruments et les méthodes astronomiques, cet arc lui-même était trop court pour que l'influence de l'aplatissement s'y décelât avec certitude. Les petites variations qui se faisaient sentir dans les longueurs des degrés consécutifs étaient faciles à se confondre avec les erreurs d'observation, de telle sorte qu'on pouvait en déduire un allongement aux pôles, aussi bien qu'un aplatissement. Les astronomes furent dès lors divisés : les uns soutenaient avec Huygens et Newton l'aplatissement, tandis que les autres soute-

1. Biot, *Mélanges scientifiques et littéraires*, t. I, p. 72.

naient, avec les Cassini, l'allongement. Cette division jeta le monde savant dans une grande perplexité.

Afin de faire cesser cet embarras, l'Académie des sciences, appuyée par le gouvernement français, chargea, en 1735, Godin, Bouguer et la Condamine de se transporter au Pérou, dans l'hémisphère austral, pour mesurer un arc de méridien près de l'équateur. La commission académique, aidée de deux officiers espagnols, Georges Juan et Antonio Ulloa, trouva, après dix ans de travaux incessants (de 1735 à 1745), 56 737 toises pour la valeur du degré péruvien.

Pendant que s'exécutait l'expédition géodésique équatoriale, Maupertuis[1] n'eût pas de peine à persuader le ministre Maurepas d'envoyer une expédition semblable vers le pôle nord. « Si, lui disait-il, l'aplatissement de la Terre n'est pas plus grand que Huygens l'a supposé[2], la différence des degrés du méridien déjà mesurés en France, d'avec les degrés du méridien, voisins de l'équateur, ne sera pas assez considérable pour qu'elle ne puisse pas être attribuée aux erreurs possibles des observateurs et à l'imperfection des instruments, tandis que la mesure d'un arc du méridien voisin des pôles devra résoudre la question. »

Maupertuis partit, en juin 1736, sur un navire équipé

1. Moreau de *Maupertuis* (né à Saint-Malo en 1698, mort à Bâle en 1759) se distingua par des travaux de philosophie et de mathématiques, fit en 1736 le voyage de Laponie pour la détermination de la figure de la Terre et passa l'hiver à Torneo. Ce fut là qu'il devint amoureux d'une Laponne, qui s'attacha à lui et vint même le rejoindre à Paris; dans des couplets qu'il fit sur elle, il la chanta comme la plus fidèle des maîtresses. Maupertuis fut, en 1746, chargé par Frédéric II de réorganiser l'Académie de Berlin, dont il devint président. Il se brouilla avec Voltaire, qui écrivit contre lui deux satires sanglantes, le *Micromégas* et la *Diatribe du docteur Akakia*.

2. Huygens avait évalué approximativement l'excédant du diamètre équatorial égal à $\frac{1}{578}$ du diamètre polaire. Suivant Newton cette différence était de $\frac{1}{230}$.

à Dunkerque, s'étant associé Clairaut, Camus, Le Monnier, académiciens, l'abbé Outhier, Sommereux comme secrétaire, Herbelot comme dessinateur. Le célèbre physicien suédois Celsius, qui se trouvait alors à Paris, se joignit aux commissaires français, et Voltaire chanta le courage de « ces Argonautes nouveaux, chargés de la gloire de la patrie ». D'une série d'opérations, continuées pendant plus d'un an, la commission académique conclut qu'en Laponie l'arc d'un degré avait 57 419 toises de longueur [1].

L'aplatissement de la Terre fut ainsi démontré ; mais sa mesure absolue resta encore douteuse. Le degré du Pérou, comparé aux degrés de France, donnait un aplatissement plus faible que si la Terre était d'une masse homogène. Le degré de Laponie était trop fort. Ce qui ajoutait encore à l'incertitude, c'est que si les longueurs du pendule, que l'on avait eu soin de mesurer, s'accordaient avec l'aplatissement conclu de l'opération de l'équateur, l'exactitude de ces mesures ne pouvait pas trancher la difficulté dans l'opération de Laponie. Enfin, « la faute, dit Biot, n'en était à personne ; on ne pouvait pas faire mieux alors. »

La question en resta là pendant environ cinquante ans. Elle fut reprise au commencement de la Révolution française. En 1790, l'Assemblée constituante, sur la proposition de Talleyrand, décréta que l'Académie des sciences serait chargée de chercher un modèle invariable pour toutes les mesures et les poids. En conséquence de ce décret, une commission, composée de Borda, Lagrange, Laplace, Condorcet et Monge, posa, dans le mémorable rapport du 19 mars 1791, ainsi les bases du système métrique : « Prendre pour unité de longueur usuelle la dix-millionième partie

1. Les détails de cette expédition ont été consignés par Maupertuis dans un livre instructif, intitulé : *Figure de la Terre déterminée par les observations de MM. ... faites par ordre du roi* ; Paris, 1738, in-8°.

du quart du méridien terrestre, et rapporter la pesanteur de tous les corps à celle de l'eau distillée, en adoptant le système décimal pour relier toute mesure principale de chaque espèce aux mesures plus grandes et plus petites. »

Méchain et Delambre, munis d'instruments nouveaux, créés par Borda, furent désignés pour entreprendre, souvent au péril de leur vie, l'opération la plus étendue et la plus exacte qu'on eût jusqu'alors entreprise, la mesure de l'arc du méridien compris entre Dunkerque et Barcelone. Méchain[1] prolongea la mesure de la méridienne jusqu'à Barcelone, en Espagne, tandis que Delambre[2] en faisait une nouvelle détermination en France. En 1803, Méchain entreprit une seconde expédition en Espagne, pour prolonger la méridienne jusqu'aux îles Baléares ; il mourut à la peine. Arago et Biot, chargés par l'Académie d'achever l'opération commencée, parvinrent à conduire l'arc français jusqu'à la petite île de Formentera. Au nord, il avait été déjà prolongé (de 1784 à 1788), par les soins du major général Roy, jusqu'à l'observatoire de Greenwich, et rattaché ainsi aux opérations géodésiques exécutées en Angleterre. Ce grand arc, le plus grand qui eût été encore mesuré, a donné 57 025 toises, pour la valeur moyenne d'un degré en

1. André *Méchain* (né à Laon en 1744, mort en 1805 en Espagne) fut employé au dépôt de la marine, aida Cassini de Thury et Legendre à déterminer la différence de longitude des observatoires de Paris et de Greenwich (résultat presque identique avec celui qu'ont obtenu récemment MM. Leverrier et Airy), et collabora à la *Connaissance des Temps* (de 1786 à 1794).

2. Joseph *Delambre* (né à Amiens en 1749, mort à Paris en 1822) se livra d'abord aux études historiques et littéraires, remporta, en 1792, le prix d'astronomie pour ses tables d'Uranus et celles des satellites de Jupiter, eut une grande part à l'élaboration du système métrique, publia un *Traité d'astronomie pratique et théorique*, et se fit surtout connaître par son *Histoire de l'astronomie*, 5 vol. in-4° 1817-1821), ouvrage auquel M. Matthieu joignit, en 1827, un sixième volume comprenant l'*Histoire de l'astronomie au dix-huitième siècle*.

France. L'arc du méridien, compris entre Dunnose (île de Wight) et Clifton (Yorkshire), mesuré pendant 1800 à 1802 par le général Mudge, a donné 57 066 toises pour la valeur d'un degré en Angleterre. Ces résultats ne s'éloignent guère de ceux que Lacaille avait obtenus (en 1752) au cap de Bonne-Espérance. Ils se rapprochent également de ceux des astronomes Mason et Dixon (1768), dans l'Amérique du Nord; de Boscowich (1754), entre Rome et Rimini; du P. Beccaria (1762-1763), dans le Piémont; du P. Liesganyi (1768), dans la Hongrie.

Depuis le commencement de notre siècle, les opérations géodésiques, ayant pour objet la détermination de la valeur moyenne d'un degré du méridien, ont été continuées par Lambton au Bengale, par Gauss dans le Hanovre, par Cassini et Plana dans le Piémont, par Schumacher dans le Danemark, par Bessel et Bayer dans la Prusse orientale, par W. Struve en Finlande et Courlande, etc.

Ces travaux, exécutés sur les points les plus divers de la surface terrestre, ont mis hors de doute la forme sphéroïdale et les dimensions de notre globe; ils ont en même temps montré que le problème était plus compliqué qu'on ne l'avait pensé. La figure de la Terre présente, en effet, des irrégularités dont on a cherché à amoindrir l'influence, en combinant la valeur moyenne des degrés mesurés à des latitudes très-distantes et en les assujetissant seules aux relations elliptiques, afin d'en déduire l'aplatissement du sphéroïde, que l'on a ainsi trouvé peu différent de $\frac{1}{309}$. Il est à remarquer que ce résultat, qui n'est qu'une approximation, diffère à peine de celui de $\frac{1}{304}$ que fournit la méthode de Laplace, et qui donnerait la valeur réelle de l'aplatissement, si le sphéroïde terrestre était exactement elliptique[1]. La méthode graphique,

1. La méthode de Laplace consiste à observer l'action que l'aplatissement de la Terre exerce sur les mouvements de la Lune. Elle part

qui consiste dans la mesure directe du méridien, a donné comme résultat général des principales opérations géodésiques entreprises jusqu'à ce jour, 57 000 toises ou 111 111m,11 pour la longueur de l'arc d'un degré moyen[1].

Enfin, c'est un fait définitivement acquis à la science que la Terre est un sphéroïde aplati aux pôles. Avec le quart du méridien de dix millions de mètres (en chiffres ronds) et l'aplatissement de $\frac{1}{294}$ (résultat aujourd'hui généralement adopté)[2], on a pour le rayon de l'équateur (demi-grand axe) 6 378 233m, et pour le rayon du pôle (demi-petit axe) 5 356 558m. Le rayon équatorial a donc sur le rayon polaire un excédant de longueur de 21 675m

de la supposition que notre planète est un sphéroïde très-peu différen d'une sphère. L'attraction qu'un tel sphéroïde, quelle que soit sa constitution intérieure, exerce sur un point extérieur, situé dans l'espace, peut être exprimée par une série dont les termes sont ordonnés suivant les puissances inverses de la distance. Le premier de ces termes représente l'attraction d'une sphère égale en masse au sphéroïde; le second représente ce qui s'ajouterait à cette attraction, si le sphéroïde était elliptique; enfin les suivants expriment de même ce qu'il faut ajouter aux premiers pour compléter les effets de la véritable figure. Or, ces premiers termes, se trouvant divisés par de moindres puissances de la distance, demeurent seuls sensibles, lorsqu'on calcule l'action de la Terre à une distance aussi grande que celle de la Lune; conséquemment, lorsqu'on parvient à démêler, dans les mouvements de ce satellite, les inégalités dont ils sont la cause, on peut, d'après ces effets, trouver la valeur propre des termes qu'ils ont produits. (Biot, *Mélanges scientifiques*, t. I, p. 106 et suiv.)

1. En multipliant cette quantité par 360, nombre des degrés contenus dans une circonférence, on a la valeur de la circonférence entière de la Terre. Rien de plus facile que d'en déduire ensuite la valeur du diamètre. Il suffit de se rappeler que le rapport d'une circonférence quelconque à son diamètre est 3,141 592..., valeur approchée, incommensurable, exprimée par π. En divisant donc la valeur de la circonférence C par π, on a celle du diamètre ou double rayon : $\frac{C}{\pi} = 2\ R$; d'où la valeur du rayon $\frac{2R}{2} = R$. Tout cela est élémentaire.

2. *Annuaire du Bureau des longitudes* pour l'année 1873, p. 96.

ou un peu plus de cinq lieues. Le plus long diamètre rencontre rectangulairement le plus court, qui est l'axe de rotation.

En somme, on est, pour le répéter, aujourd'hui assuré de ne pas se tromper de plus de 200 mètres sur la grandeur absolue du rayon moyen de la Terre. Avec une mesure aussi exacte on peut hardiment entreprendre d'arpenter les espaces interplanétaires.

Une chose digne de remarque, c'est que la forme ellipsoïdale de la Terre reflète en quelque sorte celle de son orbite, qui est une ellipse. Et quand on compare entre elles les opérations exécutées depuis une cinquantaine d'années, d'après les méthodes les mieux perfectionnées, et avec des instruments d'une précision extrême[1], on constate avec étonnement que sous les mêmes latitudes le rayon terrestre n'est pas le même. Enfin, quand on rapproche ce résultat des phénomènes d'élévation et des abaissements, alternatifs et périodiques, que les géologues ont signalés pour un certain nombre de points de l'écorce terrestre, on ne peut pas s'empêcher de proclamer hautement que *tout se meut*, que *tout oscille*, jusqu'au centre même autour duquel se sont sphéroïdalement groupées des masses compactes, pour former une molécule ou un globe céleste.

Masse de la Terre.

Il ne suffisait pas de mesurer la Terre, il fallait aussi la *peser*, c'est-à-dire qu'il fallait trouver le rapport du

1. Quand on songe que la variation de longueur du pendule par laquelle l'aplatissement se mesure n'est en tout, depuis l'équateur jusqu'au pôle, que de 4 millimètres, c'est-à-dire moins de 2 lignes, on pourra se faire une idée de la précision qu'il a fallu pour arriver à ces résultats, en présence des innombrables aspérités et des différences de composition du globe terrestre.

poids d'un volume de terre à celui de l'eau sous le même volume, à la température de son maximum de condensation (représentant l'unité des densités). A cet effet, trois méthodes ont été employées. La première consiste à déterminer, par une combinaison de mesures astronomiques et géodésiques, la quantité dont le fil de plomb dévie de la verticale, sous l'influence d'une montagne voisine. Proposée par Newton et Huygens, cette méthode fut mise à exécution depuis 1774, par Makelyne, Hutton, Playfair, Laplace, Sabine, elle donne pour la moyenne densité de la Terre, environ 4,700. La seconde méthode est fondée sur la comparaison des longueurs d'un pendule, qu'on fait osciller d'abord au pied (au niveau de la mer), puis au sommet d'une montagne. Cette méthode a donné aux observations de Carlini sur le Mont Cenis, comparées aux observations de Biot à Bordeaux, 4,837 pour la densité moyenne [1]. La troisième méthode est celle de la balance de torsion, qu'on peut considérer comme un pendule oscillant horizontalement. Cette dernière méthode est la plus sûre, parce qu'elle n'exige pas, comme les deux autres, la détermination toujours difficile de la densité des roches dont se compose une montagne. Cavendish se servit de cette méthode. Il partait du principe que les lois de l'attraction universelle sont applicables à tous les corps terrestres. Et voici comment il raisonnait : « Nous connaissons l'action exercée par la Terre sur une petite balle de plomb qui, en un lieu donné, se trouve éloignée du centre de la Terre d'une longueur donnée par le calcul ; nous connaissons cette action, puis qu'elle a pour mesure le poids de la petite balle de plomb, poids indiqué par une balance ordinaire. Or, si nous pouvions, au moyen d'une balance spéciale, mesurer l'action d'une grosse boule de plomb sur la même petite balle, lorsque les centres des deux

1. *Effemerid. astronom. di Milano,* année 1824, p. 184.

boules de plomb sont à une distance connue, nous aurions évidemment, par l'application de la loi de Newton, une relation où il n'y aurait d'inconnu que le rapport des masses de la Terre et de la grande boule. » La résolution de cette question donna immédiatement ce rapport, d'où l'on déduisit, la densité du plomb étant connue, la densité moyenne de la Terre. D'après un grand nombre d'expériences très-concordantes, cette densité a été trouvée égale à 5,48. Plus récemment, à peu près le même résultat (5,44) a été obtenu avec des instruments perfectionnés, par Reich, de Freyberg[1].

A raison de la différence des roches qui composent l'écorce terrestre, la densité des continents est à peine 2,7, et la densité moyenne des continents et des mers réunis n'atteint pas 1,6. Le pendule, soit vertical, soit horizontal (balance de torsion), qui donne pour densité moyenne de tout le globe terrestre ou de notre masse planétaire, 5,48 (à peu près celle de la baryte), est donc l'instrument géognostique par excellence : il montre combien la densité des couches intérieures doit s'accroître en se rapprochant du centre, soit par suite de la pression que ces couches supportent, soit à cause de la nature de leurs matériaux.

Le rayon et la densité moyenne du globe terrestre étant connus, il est facile d'en déduire le poids de la masse totale de notre planète.

La masse de la Terre n'est que la 354 936e partie de celle du Soleil ; en d'autres termes, il faudrait un poids de plus de trois cent cinquante mille fois celui de la Terre pour faire, sur les plateaux d'une balance, équilibre à la masse du Soleil.

1. Reich *Recherches sur la densité moyenne de la Terre*, 1838.

La Lune.

Notre satellite a fourni à Newton la découverte des lois de la gravitation, comme Mars avait livré à Kepler le secret des lois qui portent le nom de ce grand astronome.

La Terre pèse sur la Lune ; son action se reflète dans les mouvements de notre satellite, pour ainsi dire comme dans un miroir. La Terre et la Lune forment un véritable couple de forces. Elles se pondèrent, elles se balancent, toujours en raison inverse du carré de leurs distances et en raison directe de leurs masses, inégalement distribuées autour de leurs centres. Leurs balancements, leurs mouvements oscillatoires, quoiqu'ils varient à chaque instant, sont cependant, à raison même de leurs lois, contenus dans d'infranchissables limites. A l'action réciproque de la Terre et de la Lune s'ajoute l'action prépondérante du Soleil, sans exclure, loin de là, celle des autres planètes, à commencer par Mars et Venus, les plus rapprochées de la Terre après la Lune. L'idée d'une *mécanique* ou d'une *dynamique céleste* se présente dès lors naturellement à l'esprit, d'autant plus que les *irrégularités*, les *inégalités* ou *anomalies*, — termes bien mal choisis, — ne font que confirmer cette pondération universelle, et que les *perturbations* ne sont, pour ainsi dire, que des différentielles à intégrer dans l'harmonie de l'ensemble ou dans l'unité du système. Cependant on continue encore, — tant l'usage est tyrannique ! — à parler d'inégalités, d'anomalies, de perturbations, etc., là où ne règne jamais aucun désordre. Tout cela, d'abord vaguement entrevu, a été, depuis Kepler et Newton, parfaitement mis en lumière par les plus grands géomètres, tels que Euler,

Clairaut, d'Alembert, Lagrange, Laplace, Gauss, Poinsot, etc.

Les mouvements si complexes de la Lune ont, depuis Hipparque et Ptolémée, exercé la sagacité de tous les astronomes. Pour se reconnaître dans ces enchevêtrements, en apparence inextricables, rappelons que si la distance de la Terre au Soleil est variable, celle de la Terre à la Lune l'est aussi; que cette inégalité dans la distance de notre globe à son satellite produit l'évection, découverte par Ptolémée, comme l'inégalité dans l'angle des rayons vecteurs de la Terre à la Lune et de la Terre au Soleil donne la variation, trouvée par Tycho.

Horrox ou Horrocks (né vers 1619 à Toxteh près de Liverpool, mort en 1641), partisan décidé des idées de Kepler, expliqua le premier l'évection et la variation par la forme elliptique de l'orbite lunaire, comme étant inséparablement liée à une variation de l'excentricité de l'ellipse et à un mouvement oscillatoire de la ligne des apsides. Cette variation s'effectue, suivant lui, par un changement dans la position du centre de l'orbite, de manière que ce centre se mouvrait sur un petit cercle, pendant que l'orbite lunaire s'aplatirait en quelque sorte Quant au mouvement de la ligne des apsides, il se manifeste, selon le même astronome, par la libration de l'an pogée qui tantôt avance, tantôt recule, suivant la position du Soleil par rapport à la Lune; avançant plus qu'il ne rétrograde, l'apogée se trouve, à chaque lunaison, être avancé d'environ 3 degrés. Ces idées ne parurent que trente-un ans après la mort de leur auteur (*Ieremiæ Horroccii Astronomica Kepleriana defensa et promota*, etc., Lond., 1672, in-4°). Flamsteed s'en servit pour le calcul de ses Tables. Newton en fit usage, sans nommer Horrox, pour expliquer la variation : il supposait que la Lune se mouvrait dans un cercle, n'était la force perturbatrice du Soleil, à laquelle il n'attribuait d'autre effet que de chan-

ger ce cercle en ellipse. Cette manière de considérer le problème le conduisit à l'idée d'une excentricité variable, dont les changements remplacent l'évection[1].

Newton exposa les principes des inégalités du mouvement de la Lune dans la Proposition LXVI du Ier livre de ses *Principes de philosophie naturelle*, et dans les corollaires qui la suivent. Mais, s'il donna une solution complète de la question pour le cas de l'attraction mutuelle de deux corps, il n'aborda pas même analytiquement le cas de l'action réciproque de trois ou de quatre corps.

Halley sentit toute la difficulté du problème. « Les inégalités de la Lune se compliquent, disait-il, de manière qu'il est très-difficile de les démêler. Quand on obtient un accord satisfaisant entre le calcul et l'observation, on le doit à la compensation de diverses erreurs. Quand, au contraire, ces erreurs s'accumulent, on trouve des différences sensibles qui peuvent aller jusqu'à sept ou huit minutes. »

L'*équation annuelle*, entrevue par Tycho et indiquée par Horrox, fut parfaitement déterminée par Halley. La durée de la révolution périodique de la Lune ayant été reconnue moindre lorsque la Terre est à l'aphélie que lorsqu'elle est au périhélie, il fallait introduire dans le mouvement annuel de la Lune une équation dont le maximum était,

1. « Horrocks, dit Clairaut, cité par Delambre, avait prévenu Newton sur la partie la plus difficile du problème, sur ce qui regarde l'apogée et l'exentricité. On est étonné que ce savant, dénué des secours que fournissent le calcul et le principe de l'attraction, ait pu arriver à réduire des mouvements, si composés, sous des lois presque semblables à celles de Newton. Et ce dernier, si respectable d'ailleurs, paraît d'autant plus blâmable en cette occasion d'avoir caché sa méthode, qu'il s'exposait à faire croire que ses théorèmes étaient, comme ceux des astronomes qui l'avaient précédé, le résultat de l'examen des observations, au lieu d'être une conséquence qu'il eût tirée de son principe général. » (Delambre, *Histoire de l'astronomie du dix-huitième siècle*, p. 28.)

suivant Halley, de 13 minutes et qui a été réduit depuis à 11 minutes 10 secondes. Ce grand astronome fit en même temps voir la cause de la nouvelle inégalité à ajouter à l'évection et à la variation; il trouva cette cause dans la distance variable de la Terre au Soleil pendant son mouvement annuel; il devina ce que Newton montra être un effet de l'attraction du Soleil, à savoir que l'orbite de la Lune est contractée lorsque la Terre est à l'aphélie, et qu'elle est, au contraire, dilatée quand la Terre est au périhélie, et, comme, d'après la loi de Kepler, les carrés des temps périodiques sont en raison des cubes des distances, la Lune parcourt son orbite en moins de temps au périhélie qu'à l'aphélie de la Terre (mouvements de l'apogée de la Lune et de ses nœuds).

Équation séculaire. — L'action constante qu'exerce le Soleil sur le mouvement de la Terre, dont les perturbations se font, à leur tour, sentir sur l'orbite de la Lune, renferme un terme qui dépend de l'excentricité de l'orbite terrestre. La diminution de cette excentricité a pour effet, comme le démontra Laplace, l'accélération du mouvement révolutif moyen de la Lune, accélération découverte par Halley. Cette découverte, dont nous avons déjà dit un mot, fut confirmée par Dunthorne et Tobie Mayer, en comparant les observations les plus anciennes avec celles d'Albategnius, et celles-ci avec les modernes. Laplace fit aussi voir que l'accélération du mouvement lunaire ne dépassera pas certaines limites, et qu'elle se changera en un retardement lorsque l'excentricité de l'orbite terrestre, parvenue à son minimum, cessera de diminuer pour commencer à croître[1].

1. Rappelons ici que Halley avait débuté en astronomie par une méthode propre à déterminer l'excentricité (la distance du centre au foyer de l'orbite) des planètes. L'emploi de cette méthode ne laissait rien à l'arbitraire; elle supposait seulement comme établi que les or-

Toutes les inégalités se tiennent comme des engrenages de roues. Voilà le point lumineux qu'il faut bien saisir dans la théorie si obscure de notre satellite, laquelle depuis Horrox a été si merveilleusement élucidée par Newton, Flamsteed, Maskelyne, Bradley, Lacaille, Halley, et à notre époque par Burg, Burckhardt, Damoisean, Laplace, Bessel, Carlini, Plana, Pontécoulant, Hansen, Airy, Delaunay, etc.

Tables de la Lune.

D'un usage indispensable pour le calcul des éclipses et la détermination de la longitude sur mer, les Tables lunaires furent basées par Wright, Flamsteed et d'autres sur des nombres donnés par Newton ; mais ces nombres étaient purement théoriques. Halley rectifia, en partie, la théorie de Newton par l'observation, et il espérait, par le perfectionnement de la période chaldéenne du Saros, être mis en état de prédire le lieu de la Lune à deux minutes près, ce qui était suffisant pour déterminer la longitude en mer, à moins de vingt lieues, près de l'équateur, ou de quinze lieues dans les latitudes un peu élevées. Il entreprit, en 1719, de construire de nouvelles Tables de la Lune ; mais elles ne parurent qu'en 1749, après avoir été revues par Joseph Delisle.

Tobie Mayer[1] donna, en 1753, des Tables lunaires bien

bites sont elliptiques, que le Soleil en occupe le foyer commun et que les temps périodiques sont connus.

1. Tobie *Mayer* (né à Marbach en 1723, mort à Gœttingue en 1762) apprit les mathématiques sans autres secours que les livres qu'il s'était procurés. Il était employé à l'imprimerie des cartes géographiques de Homann à Nuremberg lorsqu'il fut appelé, en 1751, comme professeur à l'université de Gœttingue, après s'être fait connaître par un mémoire *Sur la libration de la Lune*. Nommé, en 1754, directeur de l'Observatoire de Gœttingue, qui venait d'être enrichi par le roi d'Angleterre d'un grand cercle mural de 6 pieds de rayon, il entreprit

supérieures à celles de Halley. Les Tables de Mayer furent, dès 1760, employées par Lalande (né en 1732 à Bourg-en-Bresse, mort à Paris en 1807) pour les calculs de la *Connaissance des temps*, et, depuis 1767, par Maskelyne, pour la publication du *Nautical Almanach*. Elles furent perfectionnées par Mason, Bouvard, Burg et Burckhardt, qui y ajoutèrent quelques équations nouvelles et diverses corrections aux époques des longitudes moyennes de l'apogée et des nœuds.

Les Tables lunaires n'étaient encore fondées que sur la théorie et sur l'empirisme, lorsque Laplace fit proposer par l'Académie des sciences, pour le sujet d'un grand prix de mathématiques à décerner en 1820, *la formation, par la seule théorie, de Tables lunaires aussi parfaites que celles que l'on a formées par le concours de la théorie et des observations*. Ce concours produisit des travaux remarquables, dont l'un est dû à un astronome français, Damoiseau, et l'autre à deux astronomes italiens, Carlini et Plana. Ces derniers adoptèrent, pour la détermination des inégalités de la Lune, la forme analytique, préférable à la forme numérique, adoptée par Da-

de revoir les positions des étoiles zodiacales, les Tables du Soleil, les réfractions astronomiques et surtout la théorie de la Lune. Le Parlement anglais avait promis une forte récompense à celui qui découvrirait une méthode propre à déterminer la longitude sur mer. Mayer, par modestie, refusa de concourir à ce prix, parce qu'il craignait que son travail n'eût pas encore atteint la perfection nécessaire. Ses Tables lunaires, envoyées au Bureau des longitudes d'Angleterre, furent honorées, par acte du Parlement, d'une récompense de 3000 livres sterling, payées à sa veuve. Mayer mourut à trente-neuf ans. Son ami Lichtenberg, qui lui succéda dans la direction de l'Observatoire de Gœttingue, publia une partie de ses œuvres posthumes : *Tobiæ Mayeri Opera inedita*, Gœtt., 1774, in-4°. Ce volume, fort intéressant, contient entre autres un catalogue des étoiles zodiacales, où la planète Uranus se trouve enregistrée comme une étoile, ce qui permit plus tard à Delambre de déterminer exactement les éléments du mouvement de cette planète. (Voyez, pour plus de détails, l'article *T. Mayer* par R. Meyer, dans la *Biographie générale*.)

moiseau. Les valeurs analytiques trouvées par Plana pour les coefficients des diverses inégalités de la Lune furent vérifiées, en Angleterre par Lubbock, et en France par M. de Pontécoulant. En Allemagne, Hansen procéda, d'après une méthode de son invention, à une nouvelle détermination numérique des inégalités de la Lune. Les Tables publiées en 1857 aux frais du gouvernement anglais sont aujourd'hui généralement employées.

Dans ces derniers temps, Delaunay entreprit de combler les lacunes que présentait encore la théorie de la Lune. « Calculer les diverses théories de la Lune sous forme analytique, comme Plana l'avait fait, mais pousser les approximations notablement plus loin, » tel est le but que Delaunay s'était proposé[1]. Le savant directeur de l'Observatoire de Paris s'était particulièrement attaché à la détermination précise de l'influence que la diminution séculaire de l'excentricité de l'orbite de la Terre exerce sur la valeur du moyen mouvement de la Lune, qui va en s'accélérant de siècle en siècle. La grandeur de l'effet produit par la diminution progressive de l'excentricité terrestre était l'objet de quelques incertitudes. En calculant de nouveau cette grandeur, M. Adams l'avait trouvée notablement plus petite que celle que Laplace avait obtenue. Delaunay, reprenant la question, poussa les approximations beaucoup plus loin qu'on ne l'avait fait avant lui, et il parvint ainsi à confirmer pleinement le résultat de l'astronome anglais[2].

1. *Rapport sur les progrès de l'astronomie*, par M. Delaunay, p. 16 et 17 (Paris, 1867).

2. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 17 janvier et 25 avril 1859.

Libration de la Lune[1].

Galilée découvrit la *libration diurne* (optique), qui n'est que d'un degré et toujours égale à la parallaxe horizontale. Cette libration vient de ce que la Lune, étant à l'horizon, nous la voyons de haut en bas, ce qui nous permet de distinguer en haut une partie de son globe que nous ne verrions pas dans une autre position. Galilée reconnut aussi le premier la *libration en latitude*, qui consiste dans une espèce de balancement de l'axe de la Lune : l'observateur placé à la surface de la Terre voit apparaître, tantôt vers le pôle nord, tantôt vers le pôle sud de notre satellite, des parties qui seraient invisibles si l'hémisphère qui se montre à nous, était toujours exactement situé dans le plan qui passe par l'axe de la Lune.

Riccioli et Hévélius découvrirent la *libration en longitude*, qui fait que des parties, auparavant invisibles, deviennent visibles, tantôt sur le bord oriental, tantôt sur le bord occidental de la Lune. Hévélius l'expliqua, dès 1648, par une variation de l'excentricité de l'orbite lunaire. Riccioli rejeta cette explication, parce qu'elle lui donna une libration trop grande. Cassini et Newton l'adoptèrent.

Newton chercha le premier à expliquer la libration qui produit la parfaite égalité entre les durées de la rotation et de la révolution de notre satellite, libration par suite de laquelle la Lune nous montre toujours la même face. Si la Lune était exactement sphérique, cette libration serait simplement optique ; mais d'Alembert (né à Paris en 1717, mort en 1763) a montré que, si la Lune s'écarte

1. Le mot de *libration* a été donné à de petits changements qu'on aperçoit dans la position du globe lunaire, indiquée par la situation de ses taches. La nature et la cause de ces petits balancements varient.

tant soit peu de la forme sphérique, il devra y avoir une cause physique, matérielle, de cette libration[1]. Et, en effet, Newton avait déjà émis l'idée que l'équateur lunaire doit, par suite de l'attraction terrestre, être allongé dans le sens du diamètre qui va de la Lune à la Terre, en même temps que la rotation de la Lune autour de son axe en aura fait un sphéroïde aplati aux pôles. Lagrange, tout en admettant, avec Newton, que la Lune est un sphéroïde allongé vers la Terre, trouva « qu'elle doit faire autour de son axe une espèce de balancement par lequel sa vitesse de rotation est tantôt accélérée, tantôt retardée, et qu'alors elle doit nous montrer à peu près la même face, quoiqu'elle ait pu recevoir dans l'origine une rotation dont la durée ne serait point, par elle seule, égale à celle de la révolution. » Le Mémoire de Lagrange fut couronné par l'Académie des sciences, en 1764.

La théorie de la libration de la Lune a été perfectionnée depuis par Laplace, Bouvard, Poisson, et plus récemment par Bessel et Maedler.

Cause de la précession des équinoxes. — La nutation de l'axe de la Terre et de l'axe de la Lune.

La précession des équinoxes, dont la découverte fait la gloire d'Hipparque, est un mouvement dont la cause n'a été bien expliquée que de nos jours. Cette explication a montré en même temps que les mouvements de la Lune sont liés, comme autant de fils attractifs, aux mouvements de la Terre.

Copernic essaya le premier d'expliquer, ainsi que nous l'avons vu, la précession des équinoxes par l'hypothèse que l'axe de rotation de la Terre ne reste pas exactement parallèle à lui-même, et il simplifia le mécanisme des mou-

1. *Recherches sur le système du monde*, IIe partie, art. 363 et suiv.

vements célestes en faisant tourner les pôles du monde (extrémités de l'axe de la Terre prolongé) autour des pôles de l'écliptique ; mais il ignora la cause de ce mouvement. Newton rattacha cette cause à la gravitation universelle, en la faisant dépendre de l'aplatissement du globe terrestre. D'Alembert en donna la démonstration mathématique ; il montra « que la partie renflée de la Terre, formant une sorte de bourrelet au-dessus de la sphère qui a pour diamètre la ligne des pôles, doit éprouver de la part du Soleil un mouvement rétrograde qui imprime au globe terrestre un mouvement général, en vertu duquel l'axe polaire revient après une révolution complète aux mêmes étoiles, en 25 000 à 26 000 ans. »

Mais le mouvement de précession des équinoxes ne s'effectue pas aussi simplement que l'avaient pensé Copernic, Newton et leurs successeurs. Après une série d'observations fort délicates, Bradley découvrit, en 1747, que l'axe de rotation de la Terre, au lieu de se mouvoir uniformément autour des pôles de l'écliptique pour décrire un cercle régulier, décrit, en s'inclinant tour à tour en avant et en arrière, par unc véritable *nutation*, une courbe ondulée comprenant, dans une révolution complète, environ 1400 ondulations. En faisant cette importante découverte, Bradley eut un double mérite : il sut d'abord déterminer avec précision une très-petite quantité de ce mouvement ondulatoire, dont le plus grand effet est seulement la moitié de celui de l'aberration de la lumière (environ 10 secondes), et se trouve réparti, non plus sur une seule année, mais sur près de 19 ans ; puis il assigna au phénomène sa véritable cause, à savoir la position variable de l'orbite de la Lune par rapport à l'équateur terrestre ; d'où il résulte que les nœuds de l'orbite lunaire (les points d'intersection avec l'écliptique) se déplacent de manière à accomplir une révolution entière dans un laps de 18 ans et 8 mois, — ce qui donne l'explication de la fameuse période du Saros et de Mé-

ton. — Or, c'est là juste le temps que met l'axe de rotation terrestre, pendant son lent mouvement autour des pôles de l'écliptique, à décrire, de son côté, une de ces ondulations que nous venons de signaler. Ainsi, pendant que le Soleil, par son action sur le ménisque équatorial ou sur la partie renflée de la Terre, produit le mouvement ondulé de la précession, la Terre produit, par une action analogue, sur son satellite, la *nutation* de l'axe de la Lune, et une rétrogradation des nœuds lunaires tout à fait semblable à la précession des équinoxes. Euler et Laplace ont donné la solution mathématique, complète, du problème de mécanique céleste posé par Newton.

Constitution physique de la Lune

Robert Hooke s'était flatté de l'espoir de construire des lunettes avec lesquelles on arriverait non-seulement à connaître la constitution physique de la surface lunaire, mais à y distinguer des habitants, qui seraient de la taille de ceux de la Terre. C'était se bercer d'illusions; car, encore aujourd'hui, on est obligé de reconnaître qu'en forçant le pouvoir amplificatif des télescopes, aussi bien que des microscopes, on perd plus par l'affaiblissement de la lumière qu'on ne gagne par le grossissement des objets. Aussi, pour faire de bonnes observations, faut-il s'en tenir à des grossissements modérés. Il importe aussi d'adapter à l'instrument une monture parallatique à mouvement d'horlogerie, concomitant avec le mouvement de rotation terrestre, pour que les objets qu'on vise ne quittent pas trop rapidement le champ optique; car le télescope rapproche, pour le rappeler, non-seulement les objets matériels, mais leur mouvement.

Parmi les astronomes qui, depuis Galilée, Hévélius et Riccioli, ont le plus contribué aux progrès de la séléno-

graphie, il faut citer Dominique Cassini. Dès 1673 et dans les années suivantes, ce célèbre directeur de l'Observatoire de Paris fit dessiner par Patigny toutes les phases de la Lune, marquées de jour en jour. L'artiste se servait pour cela de la lunette de 34 pieds que l'on conserve encore à l'Observatoire[1]. A la suite de ces dessins, D. Cassini donna, en 1692, d'après ses propres observations, une carte de Pleine Lune de très-grande dimension; mais on n'en a tiré qu'un très-petit nombre d'exemplaires. Cette carte se trouve réduite à une petite échelle, et accompagnée d'un texte explicatif, dans les *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1692.

La Hire, qui lui-même était fort bon dessinateur, voulut faire une carte semblable. Il fit aussi construire un globe lunaire tel qu'Hévélius l'avait proposé. Ce globe, et la carte de La Hire, qui avait 12 pieds de diamètre, changèrent plusieurs fois de propriétaire.

L'exemple de Cassini et de La Hire fut suivi par T. Mayer, directeur de l'observatoire de Gœttingue. Sur la carte que Meyer avait entrepris de faire, l'hémisphère visible de la Lune était divisé en douze segments. Mais une mort prématurée l'empêcha de terminer son ouvrage[2].

Lambert dressa avec soin, d'après ses propres observations, une carte de Pleine Lune dans les Éphémérides de Berlin pour l'année 1775. Elle ne représente, comme

1. Malheureusement ces dessins, habilement faits au crayon, sont restés inédits. Lalande les vit, à l'époque de la Révolution, entre les mains du comte Cassini, fils de Cassini de Thury.

2. Le volume des Œuvres inédites de T. Mayer, publiées par Lichtenberg, contient une carte de Pleine Lune d'environ 8 pouces de diamètre : toutes les taches y sont rapportées aux méridiens et aux parallèles de la Lune, suivant leurs positions, dans les librations moyennes, avec un catalogue de quatre-vingt-neuf taches portant les noms d'Hévélius et de Riccioli. C'est la carte lunaire la plus exacte qu'on eût publiée jusqu'alors.

celle de T. Mayer, publiée par Lichtenberg, que l'état des moyennes librations. Il manquait encore des cartes spéciales, assez détailléees pour donner une idée de la constitution physique du globe lunaire, lorsque cette lacune fut, en partie, comblée par F. H. Schroeter, dans les dessins qui accompagnent ses *Selenotopographischen Fragmente;* Gœttingue, 1791, 2 vol. in-4°.

Enfin, de nos jours, Lohrmann, de Dresde, a publié une Sélénographie, qui fut bientôt suivie de l'important ouvrage de Beer[1] et Maedler[2], intitulé : *Mappa selenographica;* Berlin, 1834-1836, 4 feuilles in-4°. C'est le meilleur atlas lunaire qui ait paru jusqu'à présent. Il est accompagné d'un texte explicatif fort détaillé (*Allgemeine vergleichende Selenographie;* Berlin, 1837, in-4°). Le travail de Beer et Maedler a servi de base à tous les ouvrages sélénographiques publiés depuis lors.

Tout récemment, la photographie s'est occupée avec succès de la sélénographie. Les figures photographiées de M. Warren de la Rue donnent une représentation fidèle de l'aspect montagneux de la Lune.

Malgré ces travaux multipliés, il règne encore beaucoup d'incertitude sur la constitution physique de la Lune. Les seuls points sur lesquels on soit parfaitement d'accord, c'est la hauteur, relativement énorme, des montagnes de notre satellite, leur forme généralement arrondie et leur caractère volcanique. On y remarque un grand nombre de vallées circulaires, semblables à d'immenses cratères dont le centre est quelquefois occupé par

1. Guillaume *Beer* (né à Berlin en 1797, mort en 1850) était fils d'un banquier de Berlin et frère du célèbre compositeur de musique Meyerbeer. Un autre frère, Michel *Beer* (mort en 1833 à Munich), se fit un nom comme poëte dramatique.

2. Henri *Maedler*, né à Berlin en 1794, fut depuis 1840 directeur de l'observatoire de Dorpat. Parmi ses nombreux travaux on remarque ses mémoires sur *Le soleil central*, sur *Les étoiles fixes* et son *Astronomie populaire*.

des pics ou des dômes. Ces cratères, par leur grandeur, laissent bien loin derrière eux les cratères de nos volcans. Ainsi, les cratères du pic de Ténériffe et du Vésuve, transportés à la Lune, seraient à peine visibles au télescope.

Les grandes *taches grises*, qu'on peut apercevoir à l'œil nu et qui donnent à la Lune sa physionomie particulière, ont reçu de Riccioli et Grimaldi, comme nous avons vu, des noms de mers. Cependant il paraît certain qu'il n'y a pas d'eau sur la Lune, et ces taches sont probablement des plaines d'une composition spéciale, encore inconnue.

Les *rainures* d'un aspect brillant, qui ne furent pour la première fois aperçues que par Schroeter, en 1788, paraissent avoir été formées postérieurement aux grands cratères; ce ne sont pas, comme on l'a prétendu, des lits desséchés d'anciennes rivières. Quant aux villes et aux constructions que Gruithuisen[1], se fondant sur l'aspect de certaines lignes parallèles de la face lunaire, assure avoir vues à la surface de la Lune, et qui témoigneraient de l'existence d'une véritable race de Sélénites, rien n'est venu jusqu'à présent confirmer une pareille opinion. Si la Lune est sans atmosphère, comme le pensaient déjà La Hire, D'Isle, T. Mayer, il n'est guère admissible qu'elle soit habitée par des êtres vivants analogues aux nôtres; mais l'opinion contraire ne manque pas de partisans. Dominique Cassini, Euler, Bianchini, Boscowich, Duséjour, Haller, Schroeter, croyaient à l'existence d'une atmosphère lunaire, confinée dans les cavités et ravins profonds dont la Lune est sillonnée, et ne s'élevant pas au-dessus du niveau supérieur des montagnes lunaires. Les habitants de notre satellite seraient alors des espèces de Troglodytes.

1. Gruithuisen, *Naturgeschichte des gestirnten Himmels*, p. 188.

La *lumière cendrée*, qui constitue la nuit de la Lune, éclairée par la lumière de la Terre, paraît plus vive dans le décours de la Lune que pendant la Lune croissante. C'était déjà l'opinion de Galilée. Schroeter l'admit aussi, et il l'expliqua. « La lumière cendrée est, dit-il, plus forte un peu avant la Nouvelle Lune, parce qu'elle est alors produite par la lumière du Soleil que réfléchissent les continents de l'Afrique, de l'Europe, d'une partie de l'Asie et de l'Amérique, tandis qu'après la Nouvelle Lune, elle est produite principalement par l'océan Pacifique et l'océan Atlantique, qui réfléchissent moins de lumière que les continents.

Distance de la Terre à la Lune. — Parallaxe lunaire.

Si les anciens avaient sérieusement réfléchi sur le fonctionnement naturel de la vision, ils seraient arrivés de prime saut à des résultats inattendus. La distance *apparente* ne nous donne jamais la distance *réelle* des objets; c'est ce que chacun peut aisément vérifier à la surface de notre globe. Il y a donc là un travail de rectification à apporter au perfectionnemeut de notre appareil visuel. Or, si cela est vrai pour les distances des objets terrestres, pourquoi ne le serait-il pas aussi, toute proportion gardée, pour les distances des corps célestes ? Si le Soleil et la Lune se montrent à nous à peu près sous le même angle visuel, comment pourra-t-on parvenir à démontrer que ces deux astres se trouvent cependant à des distances fort inégales par rapport à nous ? Enfin, si la même illusion originelle, qui nous trompe sur les distances des objets terrestres, s'étend aussi, — ce qui est indéniable, — aux espaces célestes, comment faut-il s'y prendre pour la corriger?

Encore une fois, si dès l'origine les anciens s'étaient bien posé ces questions-là, l'avénement de la science

n'aurait pas été retardé par de vaines théories. Ces grands philosophes qui, dans l'ordre moral, prêchaient à l'homme la nécessité de corriger ses passions, auraient reconnu que, dans l'ordre physique, il est également nécessaire de rectifier les aberrations de nos sens pour approcher de la vérité; bien plus, ils auraient découvert, avec autant de bonheur que de surprise, que l'intelligence, qui doit se gouverner elle-même ainsi que tout son outillage, non-seulement réussit à corriger les erreurs de la vision (pour ne citer que cet exemple), mais qu'elle trouve, comme récompense de son travail, dans ces erreurs-là mêmes le moyen de mesurer les distances d'objets matériellement inaccessibles. Ainsi, les objets diminuent de grandeur, ils se rapetissent à mesure que nous nous en éloignons; voilà l'erreur de notre sens. Mais l'intelligence a fini par s'apercevoir que cette erreur est telle que, à une distance double, triple, quadruple, etc., de la première d'où l'objet s'était présenté à notre vue sous un *angle* (angle visuel) *mesurable*, — ce qui est l'affaire de nos instruments de précision, toujours perfectibles par notre travail, — ce même objet paraîtra deux fois, trois fois, quatre fois, etc., plus petit. Le même rapport existera, bien entendu, pour tous les multiples et sous-multiples de l'angle visuel. Or qui ne voit là le moyen de mesurer la distance d'un objet inaccessible ou trop éloigné pour être atteint par nos moyens d'arpentage direct?

Dans un pareil sujet, les choses les plus élémentaires ont une importance capitale et doivent être sans cesse présentes à l'esprit. Rappelons-nous donc que, pour que deux lignes visuelles, aboutissant aux deux bords opposés d'un objet, par exemple aux deux extrémités d'un mètre, puissent se rencontrer dans l'œil de manière à y former un angle appréciable, il faut que l'observateur soit placé à une distance naturellement déterminée : il ne doit être ni trop rapproché ni trop éloigné de l'objet. Si l'œil s'y

trouvait immédiatement appliqué, les deux lignes visuelles, étant situées sur la même longueur, ne formeraient qu'une ligne droite, conséquemment pas d'angle véritable ou, si l'on aime mieux, elles formeraient un angle de 180°. S'il se trouvait, au contraire, à une distance telle que l'objet, que le mètre (qui devait former la base d'un triangle dont les lignes visuelles seraient les deux autres côtés) ne se réduirait plus qu'à un point, suivant cette aberration originelle de la vue humaine qui diminue la grandeur des objets avec leur distance, les deux lignes visuelles, appliquées parallèlement l'une à l'autre, ne formeraient aussi qu'une droite, et conséquemment ne donneraient pas non plus d'angle véritable. Le premier cas ne se présente jamais dans la pratique, tandis que le dernier se rencontre souvent en astronomie, notamment pour l'appréciation de la distance (parallaxe) des étoiles.

C'est entre ces deux extrêmes que s'agite la question de l'angle sous lequel s'aperçoit un objet éloigné, angle véritable qui *change* (d'où le nom de *parallaxe*, du grec παράλασσω, je change) *proportionnellement* avec les distances. Il faut que l'objet sous-tende un angle d'un peu plus d'une minute (d'environ 80 secondes) pour qu'il soit visible à l'œil nu pour l'immense majorité des hommes. C'est donc sous cet an gle (de 80″) que se voit encore un mètre qu'on aurait, 2575 fois la même longueur, éloigné de l'œil. Partant de là, rien n'est plus facile que d'établir les rapports qui existent entre le diamètre de l'objet visible et la distance qui le sépare de l'observateur.

Une fois bien pénétré de ces idées, on pouvait se hasarder de faire ce qui paraissait d'abord au-dessous de la puissance humaine, on pouvait songer à mesurer la distance de la Terre aux astres, à commencer par celle de notre planète à la Lune [1].

On savait depuis longtemps que le diamètre angulaire

1. Sur les tentatives faites par les anciens pour déterminer la dis-

de la Lune, c'est-à-dire que l'angle visuel donné par le diamètre de notre satellite, est variable. Que conclure de ce fait? Évidemment que la distance de la Terre à la Lune varie. Les perfectionnements apportés au micromètre, fixé dans les lunettes, ont permis de mesurer exactement les différentes longueurs du diamètre de la Lune, et de constater, dans chaque lunaison, un *maximum* et un *minimum* de distance de la Terre à la Lune, correspondant, le premier au *minimum* du diamètre lunaire (apogée), et le second à son *maximum* (périgée). Il ne s'agissait plus dès lors que de rendre les valeurs de ces distances (apogée et périgée) en unités connues, par exemple en lieues ou en kilomètres, et d'en déduire la distance moyenne. Pour obtenir ce résultat, on usa de l'artifice que voici. En se transportant, par la pensée, au centre de la Lune, on se demandait sous quel angle, variable dans les proportions indiquées, on verrait de là le diamètre ou le demi-diamètre (rayon) du globe terrestre dont la valeur est connue. C'est cet angle qui a reçu, pour le répéter, le nom de *parallaxe de la Lune*.

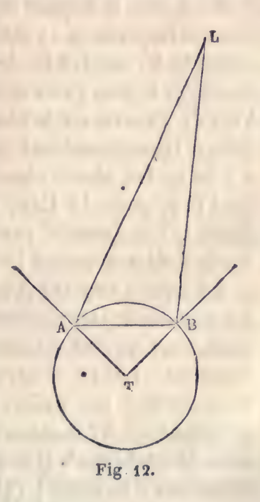


Fig. 12.

Supposons que, sous un même méridien et aux extrémités A B d'un grand arc de ce cercle (fig. 12), deux observateurs pointent en même temps la Lune L, et qu'ils mesurent sa hauteur, en tenant compte de la réfraction : ils auront le triangle A L B, dont la base A B sera la corde de l'arc

tance à la Lune, voyez Schubert, *Astronomische Nachrichten* (Notices astronomiques), année 1818.

qui mesure la distance des deux observateurs, et dont les angles à cette base sont donnés. En effet, ces angles se composent chacun de l'angle de la hauteur de l'astre et de celui que fait la corde de l'arc avec la ligne horizontale ou la tangente cet arc. Le calcul le plus simple donnera donc l'angle au sommet A B L. Ramener enfin, par une partie proportionnelle, la valeur de l'angle en L au cas où la ligne A B serait vue perpendiculairement et égale au rayon de la Terre, tel était le problème que les astronomes s'étaient proposé de résoudre au commencement du dix-huitième siècle.

Le baron de Krosigk (mort en 1714) fit des dépenses considérables pour faire déterminer par la méthode qui vient d'être indiquée la parallaxe de la Lune. Le cap de Bonne-Espérance et Berlin lui parurent les lieux les plus propres à remplir le but proposé; ces deux lieux sont, en effet, à peu près sous le même méridien, et à 86° 26′ l'un de l'autre en latitude, ce qui donne un arc de méridien très-considérable. Deux astronomes furent chargés d'y faire les observations nécessaires. Pierre Kolbe partit, en 1704, pour le Cap, et Guillaume Wagner se rendit à Berlin. Ce dernier remplit sa mission avec conscience; mais Kolbe manqua la sienne.

Le même projet fut repris en 1751, et conduit à bonne fin par deux astronomes français. L'abbé Lacaille fut envoyé au Cap, et Lalande à Berlin par l'Académie des sciences. Leurs observations, faites simultanément et avec toutes les précautions nécessaires, donnèrent une moyenne de 57 minutes ou 3420 secondes pour la parallaxe de la Lune[1]. On n'a qu'à chercher dans des Tables calculées d'avance (Tables de sinus) à quelle distance d'une base il faut se placer pour que cette base, égale ici au rayon de la Terre (1594 lieues), sous-tende un angle de 57′; on trouvera 60. La distance moyenne de la

1. *Mémoires de l'Académie des sciences,* année 1752.

Terre à la Lune ou la parallaxe lunaire est donc de $60 \times 1594 = 95\,640$ lieues[1].

Ce résultat donne en même temps la valeur des diamètres *réels* des deux astres. Si, en effet, le rayon de la Terre, vu de la Lune, sous-tend, à sa distance moyenne, un angle de 57′, le double rayon ou le diamètre sous-tendra le double de ce nombre, soit 114 minutes ou 1° 54′. Telle serait la grandeur apparente sous laquelle se présenterait notre globe, s'il était transporté à la distance de la Lune. Or nous savons qu'à cette distance la Lune sous-tend un angle d'environ 32 minutes, et qu'à la même distance (la distance de la Terre à la Lune est évidemment égale à celle de la Lune à la Terre) les diamètres réels sont comme les angles sous-tendus. Le diamètre réel de la Terre est donc au diamètre réel de notre satellite comme 114 est à 32, ou, en nombres ronds, comme 4 est à 1; en d'autres termes, le diamètre de la Lune n'est que le quart du diamètre de la Terre (qui est de 3188 lieues), c'est-à-dire seulement de 797 lieues $= \frac{3188}{4}$.

Il serait trop long d'entrer ici dans les détails des travaux auxquels se sont livrés Bradley, Wargentin, Lalande, Zanotti, Cassini de Thury, Triesnecker, Burckhardt, pour déterminer exactement la parallaxe de la Lune. Ces travaux ont été, en partie, réunis et discutés par l'astronome danois Olufsen, dans les *Notices astronomiques de Schubert* t. XIV, p. 210 et suiv.)[2].

1. Supposé que les observateurs se fussent trompés d'une seconde, cette seconde d'erreur n'aurait pas très-sensiblement affecté le résultat final : ce n'aurait été qu'une différence de $\frac{1}{3420}$ ou d'environ 28 lieues sur la distance moyenne exacte de la Terre à la Lune.

2. Voyez Jahn, *Histoire de l'Astronomie* depuis le commencement du dix-huitième siècle jusqu'en 1842 (en allemand), p. 149.

Masse de la Lune.

Les astronomes qui se sont occupés de la détermination de la masse lunaire, sont arrivés à des résultats fort divergents. Ainsi, la masse de la Terre étant prise pour unité, Delambre trouva $\frac{1}{69.2}$, Maskelyne $\frac{1}{71.5}$, Pasquich $\frac{1}{91.8}$, Laplace $\frac{1}{68}$, Lindenau $\frac{1}{88}$, pour le poids total de la Lune. Ces divergences tiennent, en grande partie, à la différence des méthodes employées. Le résultat qui ne fait de la masse (poids) de la Lune que la 88ᵉ partie de celle de la Terre, et qui est aujourd'hui généralement adopté, a été déduit par Lindenau de la constante de nutation (8″, 938).

Le Soleil.

L'astre du jour, ce Dieu des peuples primitifs et des sauvages, a en tout temps, comme nous l'avons vu, fixé la curiosité humaine. Mais des difficultés, en apparence insurmontables, se sont dressées en face des problèmes qui ont été successivement soulevés, à commencer par la distance qui sépare le siége de toutes nos observations et contemplations, qui sépare, en un mot, notre planète de l'astre central, régulateur, pondérateur de tous les rouages de notre monde.

Parallaxe du Soleil.

Jusque vers le milieu du dix-huitième siècle il régnait encore la plus grande incertitude sur la vraie distance de la Terre au Soleil, à cause de la petitesse de l'angle que donne le rayon terrestre, vu du Soleil. Copernic et

Tycho, d'accord avec Ptolémée, supposaient cette distance égale à 1200 rayons terrestres. Kepler la triplait à peu de chose près, en la portant à 3500 fois le rayon terrestre. Riccioli doublait la valeur donnée par Kepler, tandis que Hévélius ne l'augmentait que de moitié. Ces évaluations diverses étaient purement arbitraires.

Cependant on sentit de plus en plus la nécessité de déterminer exactement la *parallaxe du Soleil*, c'est-à-dire l'angle sous lequel un observateur, placé au centre du Soleil, verrait de là le rayon de la Terre. Depuis le milieu du siècle dernier, trois modes de détermination furent mis en pratique.

Le premier mode consistait à observer les passages de Vénus sur le Soleil. Mais, outre que ce moyen n'est pas à la disposition de tous les astronomes, — les deux passages consécutifs (à 8 ans d'intervalle) ne se reproduisent qu'après plus de cent ans, — les observations des passages de Vénus, en 1761 et 1769, sur le disque solaire ne donnèrent pas (surtout celles du premier passage) les résultats qu'on espérait[1].

1. Les observations du passage de 1761, faites au cap de Bonne-Espérance, en Laponie et à Tobolsk en Sibérie, donnèrent pour l'angle que sous-tend le rayon terrestre, vu du Soleil, à la distance moyenne, une valeur d'environ 9 secondes. Pour l'observation du passage de 1769, l'abbé Chappe (qui avait déjà fait le voyage de Sibérie pour le passage de Vénus de 1761) se rendit en Californie, où il mourut. Le capitaine Cook et l'astronome Green abordèrent à Taïti dans l'océan Austral. Drymond et Wales s'établirent près de la baie d'Hudson, dans l'Amérique septentrionale, et Call à Madras, dans l'Hindostan. Le P. Hell fut envoyé par le roi de Danemark à Wardhuis, à l'extrémité septentrionale du continent d'Europe; l'astronome Planman, Suédois, prit station à Cajanenbourg en Finlande, et l'Académie de Saint-Pétersbourg envoya des astronomes dans divers lieux de la Laponie russe. La moyenne de ces observations, faites sur différents points du globe, donna 8″,59 pour la parallaxe du Soleil.

N'oublions pas ici la touchante histoire de l'astronome Legentil (mort en 1792), qui, par ordre de l'Académie des sciences, devait observer le passage de 1761 à Pondichéry. Il s'embarqua le 26 mars

En discutant les observations des passages de Vénus de 1761 et 1769, Encke[1] trouva 8″58 (angle sous-tendu par le rayon équatorial de la Terre), ce qui implique une distance égale à 23 984 rayons terrestres (équatoriaux) correspondant à 38 230 496 lieues (de 4000 mètres); il pensait en même temps que la parallaxe solaire pourrait osciller entre 8″,54 et 8″,61, et que les observations des futurs passages de Vénus, en 1874 et 1882, confirmeraient peut-être la fixité de ces limites[2].

Le second procédé pour la détermination de la parallaxe solaire consistait dans l'emploi de la parallaxe de Mars en opposition (qui est d'un peu plus de 21 secondes). Mais il est impossible de répondre ici d'une demi-seconde, même pour des observations de distances zénithales, mesurées dans les circonstances les plus favorables, et l'erreur d'une demi-seconde fausserait la parallaxe du Soleil de près d'un quarantième du total. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce que les observations de Lacaille, faites en 1751, au cap de Bonne-Espérance, dans les conditions les plus défavorables, aient donné une parallaxe de 10″,71.

1760 et atterrit à l'Ile de France le 10 juillet suivant. Mais à raison de la guerre, qui avait éclaté entre la France et l'Angleterre, Legentil dut attendre cinq mois qu'une frégate française osât se risquer dans les mers de l'Inde; en arrivant devant Pondichéry (le 24 mai 1761), il trouva cette ville au pouvoir des Anglais, et il ne put observer, le 5 juin, qu'en pleine mer, sur le pont vacillant d'un navire, le phénomène céleste, qui était le but de son voyage. L'observation était manquée. Il prit alors la résolution héroïque d'attendre huit ans, dans les parages de l'Inde, le passage de 1769. Mais, par une nouvelle fatalité, un petit nuage cacha le Soleil, juste au moment du passage de Vénus.

1. François *Encke* (né à Hambourg en 1791) eut pour maître Gauss à Gœttingue, et fut, en 1826, appelé à diriger l'Observatoire de Berlin. Il eut une grande part à l'élaboration de l'Atlas des cartes célestes et publia beaucoup d'importantes notices dans l'Annuaire astronomique de Berlin. L'une des comètes périodiques porte le nom d'Encke.

2. Encke, dans les *Mémoires de l'Académie de Berlin*, année 1835, p. 309.

Enfin le troisième procédé avait pour fondement les perturbations des planètes et de la Lune, calculées analytiquement et comparées aux observations. Laplace, en se servant de ce procédé, a fait ici la réflexion suivante : « Il est très-remarquable qu'un astronome, sans sortir de son observatoire, en comparant seulement ses observations à l'analyse, eût pu déterminer exactement la grandeur et l'aplatissement de la Terre et sa distance au Soleil et à la Lune, éléments dont la connaissance a été le fruit de longs et pénibles voyages dans les deux hémisphères. » Le résultat obtenu par Laplace ne s'éloignait pas beaucoup de ceux que Delambre (8″,8) et Zach (8″,7) avaient déduit de leurs tables du Soleil[1].

Nous avons vu que, pour la parallaxe de la Lune, l'erreur d'une seconde n'a pas une grande importance. Mais la même erreur est loin d'être négligeable quand il s'agit de la parallaxe du Soleil[2], pour laquelle le nombre de 8″,57, conclu du passage de Vénus, en 1769, avait été généralement adopté. Les meilleurs astronomes admettaient encore une incertitude d'environ 500 000 lieues.

On continuait ainsi à se préoccuper de la question, lorsque la détermination de la vitesse de la lumière, par MM. Fizeau et Léon Foucault, fit naître une nouvelle méthode, plus exacte que les anciennes, pour déterminer notre distance du Soleil.

D'après les observations précises de L. Foucault, la vitesse de la lumière est de 298 millions de mètres (298 000 kilomètres ou 74 500 lieues) par seconde[3]. La

1. Ce résultat s'accorde aussi sensiblement avec celui que M. Le Verrier a déduit, en 1873, de plusieurs séries d'observations relatives aux mouvements des planètes, particulièrement de Mars et de Vénus.

2. L'erreur d'une seconde aurait pour résultat d'introduire dans la distance de la Terre au Soleil une différence d'environ un huitième, c'est-à-dire une erreur de près de cinq millions de lieues.

3. Depuis Rœmer on avait adopté le nombre de 77 000 lieues (environ 308 000 kilomètres par seconde). Le résultat obtenu par L. Fou-

distance de la Terre au Soleil, évaluée à 38 230 496 de lieues, devra ainsi subir une diminution de $\frac{1}{30}$, c'est-à-dire de plus d'un million de lieues (1 261 000 lieues de 4 kilomètres). La parallaxe solaire sera donc de 8″,86, c'est ce qui résulte aussi d'une nouvelle discussion (1864) des observations du passage de Vénus en 1769.

Le procédé de Léon Foucault fut communiqué à l'Académie des siences, vers la fin de septembre 1862, par Babinet. « Nous conservons encore, disait l'habile physicien, le mot de *parallaxe*, quoique, dans le procédé de M. Foucault, il ne soit besoin d'aucune mesure d'angle et que la distance de la Terre au Soleil y soit directement déterminée ainsi qu'il suit : M. Foucault mesure la vitesse de la lumière ; l'astronomie, par la mesure de l'aberration[1], nous dit que la vitesse moyenne de la Terre autour du Soleil est un dix-millième de celle de la lumière. Prenant donc la dix-millième partie du nombre trouvé pour la vitesse de la lumière, j'ai la vitesse de la Terre, c'est-à-dire le chemin qu'elle parcourt en une seconde de temps. Multipliant ce nombre de mètres par le nombre de secondes qu'il y a dans l'année sidérale, j'obtiens le contour du cercle entier de la Terre. Divisant par le rapport connu (π) de la circonférence au diamètre, j'ai le diamètre même de l'orbite annuelle de la Terre, dont enfin la moitié est la distance de la Terre au Soleil[2]. »

D'après les Tables du Soleil de Piazzi, Zach, Delambre, Carlini et Bessel, et surtout d'après les travaux de Laplace, le diamètre *apparent* du Soleil, à une distance moyenne de la Terre, est de 32′1″,8, ne dépassant que de

cault a été confirmé tout récemment (en 1873) par les expériences de M. Cornu.

1. L'aberration se mesure par l'angle d'un triangle, dont deux côtés sont représentés par la vitesse de la Terre dans son orbite et par la vitesse de la lumière. L'angle maximum d'aberration a été trouvé égal à 20″,44.

2. *Comptes rendus de l'Académie des sciences,* septembre 1862.

54″,8 celui de la Lune; au périhélie il augmente jusqu'à 32′34″,6, et à l'aphélie il diminue jusqu'à 31′30″,1. Combinant ces données avec celles de la parallaxe, on a trouvé que le diamètre *réel* du soleil est de 146 600 myriamètres, ou 112 fois plus grand que le diamètre de la Terre.

Masse du Soleil.

D'après les calculs d'Encke, prenant pour base la formule que Sabine a donnée, la masse du Soleil est égale à 359 551 fois la masse de la Terre, ou 355 499 fois les masses de la Terre et de la Lune réunies. La densité du Soleil n'est donc qu'un quart (plus exactement 0,252) de celle de la Terre[1].

W. Herschel et Wurm ont supposé au Soleil un aplatissement moyen de $\frac{1}{280}$ dans le sens du diamètre horizontal.

Suivant les travaux, plus récents, de Galle, le volume et la masse du Soleil sont 738 fois plus grands que le volume et la masse de toutes les planètes réunies.

Mouvements du Soleil.

Si le Soleil peut-être considéré comme immobile, relativement aux astres qui accomplissent autour de lui leurs révolutions périodiques, il tourne, en réalité, lui-même autour du centre de gravité de tout le système, et ce point, situé dans l'intérieur du Soleil, quels que soient les changements qui ne cessent de se produire dans les positions respectives des planètes, est lui-même transporté dans l'espace, avec une vitesse relative d'au moins 619 000

1. *Mémoires* de l'Académie de Berlin, année 1842.

myriamètres par jour, (plus du double de la vitesse avec laquelle la Terre tourne autour du Soleil.) C'est ce que Bessel a établi, en 1839, d'après le déplacement relatif du Soleil et de la 61e étoile de la constellation du Cygne[1]. Notre monde se déplace donc dans l'espace.

Avant les observations de Bessel, Bradley, Tobie Mayer, Lambert, Lalande, W. Herschel et Prévost avaient déjà signalé le mouvement propre de notre système solaire. Reprenant la question sur un plan plus vaste que celui de Prévost et Herschel, M. Argelander, directeur de l'Observatoire de Bonn, a montré que le Soleil se dirige actuellement vers un point situé dans la constellation d'Hercule, à 257°49',7 d'ascension droite et à 28°49',7 de déclinaison boréale. Un nouveau calcul d'Othon Struve, directeur de l'observatoire de Poulkova, en Russie, a donné, pour la direction de ce mouvement, 261°23' d'ascension droite, et 37°36 de déclinaison boréale[2].

D'après des données, la plupart hypothétiques, Maedler a considéré les Pléiades comme le groupe central de tout notre ciel étoilé, et il a désigné particulièrement l'étoile Alcyone comme le *Soleil central*[3].

Cette grande question avait beaucoup préoccupé H. Goldschmidt vers la fin de sa vie. D'après une communication qu'il nous a faite peu de temps avant sa mort, cet habile observateur était persuadé que le foyer central autour duquel tourne notre système en compagnie d'autres mondes était situé dans la constellation d'Orion.

1. Schumacher, *Annuaire*, année 1839, p. 51. — Le mouvement propre de la 61e étoile du Cygne est assez considérable pour donner, en sept siècles, un déplacement de 1 degré.

2. *Bulletin* de l'Académie de Saint-Pétersbourg, année 1842, p. 137 et suiv.

3. H. Maedler, *Die Centralsonne*, p. 69 (Mitau et Leipzig, 1847).

Constitution physique du Soleil.

Comment se fait-il que ce grand luminaire, *lucerna mundi*, ne cesse de nous verser de la lumière et de la chaleur, sans s'affaiblir ni s'éteindre? Tel est le problème que de tout temps les hommes se sont posé, mais sans en avoir jamais abordé sérieusement la solution. C'est qu'il est arrivé ici ce qui se présente partout : l'esprit, chemin faisant, est tellement absorbé par les détails, qu'il perd souvent de vue le point essentiel de la question.

Le Soleil avait été toujours considéré comme une masse incandescente ou en fusion, lorsque Kant vint le premier soutenir hardiment que notre astre central est à l'état de gaz incandescent. « Je pose, dit-il, comme certain que le Soleil est un corps flamboyant, et non pas une masse fondue ou chauffée à la température la plus élevée. Car un feu flamboyant (gaz incandescent) a sur toutes les autres sources de chaleur, l'immense avantage que, loin d'être affaibli ou épuisé par la communication, il reçoit par là plus de force et d'intensité, et il n'a besoin que d'être alimenté pour durer toujours. Une masse solide, incandescente ou fondue est, au contraire, dans un état passif; par le contact de ses propres parcelles, sa chaleur diminue constamment et est impuissante à se révivifier. En considérant bien tout cela, on arrive à se convaincre que toute source de lumière et de chaleur, dans l'univers, que ce soit notre Soleil ou tout autre étoile, doit être à l'état de vapeur flamboyante[1]. »

Ce passage si remarquable du célèbre philosophe astronome paraît avoir été inconnu à W. Herschel et à tous ceux qui se sont depuis livrés à l'étude de la constitution physique du Soleil.

1. Kant, *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*, p. 96.

Au travers d'un verre noirci, et à l'aide d'une lunette d'un moyen grossissement, le globe solaire présente un aspect pointillé et rugueux que W. Herschel comparait à celui d'une peau d'orange. Il y distingua des *lucules* ou rides lumineuses (*corrugations*), et des *nodules* ou rides obscures (*indentations*), plus déprimées, qui accompagnent les premières. Les nodules ou *indentations* présentent, vers le centre, de petits noyaux ou taches noires (*pores*). A côté des *corrugations* se voient quelquefois d'autres rides, plus grandes et plus lumineuses, appelées *facules;* disposées par rangées irrégulières, elles précèdent ordinairement l'apparition des *taches*[1].

Ce sont les taches du Soleil, découvertes au commencement du dix-septième siècle[2], qui ont depuis fixé l'attention des observateurs, au point de leur faire négliger les autres éléments qui doivent tous concourir à la solution du problème proposé. C'est par l'observation des taches que Galilée et Scheiner avaient trouvé, en 1630, pour l'inclinaison du Soleil sur l'écliptique, 7°15'; pour la longitude du nœud, 67°0'; pour la durée de la rotation de 24 à 26 jours. Lalande, en 1771, trouva, pour l'inclinaison 7°15', pour la longitude du nœud 77°56', et pour la durée de la rotation 25 jours et un quart. En 1841, reprenant la détermination de ces éléments, Laugier[3] entreprit d'observer un grand nombre de taches prises dans des régions aussi différentes que possible sur les deux hémisphères. Le résultat numérique de son travail fut d'assigner à l'inclinaison de l'équateur solaire sur l'écliptique une valeur de 7°9', et à la longitude du nœud 75°16'; la durée de la rotation fut fixée, en moyenne, à 25^{j},34. Laugier mit en

1. Herschel, ***Observations to investigate the nature of the Sun,*** dans les ***Philosophical Transactions***, année 1801.

2. Voyez plus haut, p. 398.

3. Ernest *Laugier* (né en 1812, mort en 1868), membre de l'Académie des sciences depuis 1842, a publié un grand nombre de notices astronomiques dans la ***Connaissance des Temps.***

évidence un fait important déjà entrevu par Scheiner, mais complétement négligé depuis, à savoir que chaque tache, suivant sa position, donne une rotation différente, indépendamment d'autres mouvements qui font que les taches s'écartent ou se rapprochent les unès des autres. Les choses se passent, disait Laugier, comme si chaque zone de la photosphère avait un mouvement particulier. Les rotations observées par Laugier dans les différentes zones varient de $24^j,28$ à $26^j,23$[1]. Ce résultat, que l'incertitude des observations ne saurait expliquer, passa inaperçu, parce que les esprits étaient alors dominés par l'hypothèse de Wilson (émise en 1760), reprise et développée par W. Herschel. Nous devons donc en dire un mot.

D'après cette hypothèse, qui réunit un très-grand nombre de partisans, le Soleil est un globe opaque, habitable comme la Terre ; il est enveloppé au moins de deux atmosphères, très-distinctes, l'une externe, l'autre interne. L'atmosphère externe, qui peut se trouver à plus d'un million de lieues du corps solaire, est celle qui, par la réaction chimique de ses nuages, nous envoie la chaleur et la lumière ; c'est l'atmosphère lumineuse, la *photosphère*. L'atmosphère intermédiaire entre celle-ci et le globe solide forme une couche plus dense, beaucoup moins lumineuse : c'est en quelque sorte une atmosphère planétaire, ne brillant que par réflexion et faisant pour ainsi dire l'office d'un écran ; le mouvement de ses nuages est indépendant de ceux de l'atmosphère lumineuse, essentiellement solaire. Celle-ci, sorte d'aurore boréale permanente, est alimentée par un fluide élastique léger, particulier, qui s'élève incessamment de la surface du corps solaire opaque. Quand il est peu abondant, il laisse voir les petites ouvertures (*pores*) par lesquelles il se dégage.

1. Le travail de Laugier n'a pas été publié. Voyez M. Faye, *La constitution physique du Soleil,* dans l'*Annuaire* pour 1873, p. 478.

Arrivé dans les couches élevées de la photosphère, ce gaz se combine avec d'autres fluides : de l'intensité plus ou moins grande de ses courants et de leurs réactions naissent les *facules*, les rides et le pointillé si caractéristique du disque solaire. De larges ouvertures produites, dans les deux atmosphères à la fois, par des courants ascendants, montrent à découvert une portion plus ou moins considérable du corps opaque : de là les *taches*. Si, à travers les grandeurs relatives de ces ouvertures, le corps du Soleil se montre seul nettement, on aura une tache sans pénombre ou réduite à son noyau ; aperçoit-on en même temps une certaine étendue de l'atmosphère sous-jacente, le noyau sera entouré d'une pénombre à peu près uniforme. Enfin, si l'atmosphère externe, lumineuse, est seule entr'ouverte, il n'y aura qu'une pénombre sans noyau.

L'apparition des taches est, suivant W. Herschel, l'indice d'une abondante émission de chaleur et de lumière, ce qui est le contraire de ce qu'on avait cru généralement. A défaut d'observations météorologiques, le grand astronome appuya son hypothèse sur le prix du blé en Angleterre, pour en déduire la température moyenne annuelle. Il en dressa un tableau comparatif, d'où il crut devoir conclure que les moissons sont d'autant plus abondantes que les taches du Soleil sont plus nombreuses.

Mais cette manière de voir n'a pas été confirmée par des observateurs plus récents. Le P. Secchi, directeur de l'Observatoire de Rome, a trouvé que les taches, contrairement à l'opinion de Herschel, produisent une diminution de température dans tous les points du Soleil voisins de ceux où elles se montrent. Il constata aussi que, à parité de distance au centre, les régions polaires de l'astre radieux ne sont pas aussi chaudes que les régions équatoriales, et que les deux hémisphères, boréal et austral, n'ont pas tout à fait la même température.

H. Schwabe, de Dessau, s'est livré, pendant un quart de

siècle (de 1826 à 1851), à une étude journalière des taches ou groupes de taches qui apparaissaient sur le disque du Soleil. Ses longues et patientes recherches l'ont amené à établir que les apparitions de groupes de taches sont sujettes à une certaine périodicité; qu'après avoir augmenté pendant cinq à six ans, leur nombre diminue graduellement dans le même espace de temps, de manière que l'intervalle compris entre deux maxima ou deux minima consécutifs serait de dix à douze ans.

M. Wolf, de Zurich, mit cette périodicité hors de doute en colligeant toutes les observations de taches faites depuis 1611. Il en résulte que le Soleil présente une analogie remarquable avec les étoiles variables, telles que β de Persée, β de la Lyre, etc., dont l'éclat subit aussi des changements périodiques. Cette analogie frappa particulièrement M. Faye. « L'idée, dit-il, qu'une étoile puisse osciller quelque temps, comme une flamme qui va s'éteindre et finit par disparaître[1], choque d'anciens préjugés depuis longtemps oubliés, mais dont les racines vivent encore en nous à notre insu.... Aussi a-t-on longtemps hésité à admettre que les astres n'ont pas toujours existé, qu'ils ont eu une période de formation, et qu'ils auront pareillement une période de déclin, suivie d'une extinction finale. Ces phénomènes embrassent sans doute des durées hors de proportion avec celles que nous sommes habitués à considérer; mais, faute de pouvoir les étudier dans le temps, nous les saisissons dans l'espace. L'espace, en effet, nous présente simultanément, dans l'armée céleste, des étoiles parvenues à toutes les phases de l'existence stellaire, de même qu'une forêt nous permet de suivre l'évolution d'un chêne dans la suite des siècles en nous montrant à la fois de tels arbres parvenus à tous les degrés de croissance. Toujours est-il que le

1. La vie elle-même, avant de s'éteindre, présente ces oscillations, comme si c'était là une loi universelle de la nature.

Soleil nous apparaît aujourd'hui comme une étoile variable à très-longue période et à variation d'éclat très-faible encore[1]. »

Vue de cette hauteur, la question s'est élargie tout en se simplifiant. En se rappelant ici l'hypothèse de Laplace, d'après laquelle le Soleil à son origine occupait, sous forme d'une espèce de nébuleuse, un très-grand espace, et par suite de son mouvement de rotation et de condensation, a abandonné quelques parcelles de sa masse, qui ont formé les planètes, on pourra admettre que le Soleil ou notre monde, sorti de sa période de formation, est entré dans sa période de déclin.

Mais laissons de côté les hypothèses, et bornons-nous à résumer les conceptions et les découvertes qui doivent ici nous intéresser plus particulièrement.

La comète de 1682 suggéra à Newton l'idée que les comètes, qui tomberaient de temps à autre sur le Soleil ou sur les étoiles, pourraient bien fournir à l'entretien de ces foyers de chaleur et de lumière les matériaux nécessaires. Les comètes devaient ici servir directement de combustible; car à l'époque de Newton on ne se faisait encore aucune idée d'une chaleur produite par le choc : la *thermodynamique* est une doctrine toute moderne. En 1847, le promoteur de cette doctrine, M. Mayer, de Heilbronn, adressa à l'Académie des sciences un mémoire intitulé : *Considérations sur la production de la lumière et de la chaleur du Soleil*. D'après l'opinion de M. Mayer, partagée par M. Waterston, la chaleur et la lumière du Soleil sont produites et entretenues par la force vive que détermine la chute d'innombrables étoiles filantes. Cette force pourrait, en effet, suffire pour alimenter la radiation solaire. Mais les essaims d'astéroïdes ou d'étoiles filantes circulent autour du Soleil dans des courbes fermées, et ne tombent sur cet astre pas plus que les comètes dont

1. M. Faye, *Annuaire du Bureau des longitudes*, 1873, p. 475.

ils faisaient sans doute originairement partie. Aussi M. Thomson a-t-il substitué aux essaims d'étoiles filantes, considérées comme l'aliment du foyer solaire, la lumière zodiacale, prise pour le vaste anneau d'une matière rare, disséminée aux environs du Soleil et circulant autour de cet astre. Si des objections graves firent abandonner cette modification de l'hypothèse de M. Mayer, M. Thomson développa à cette occasion, sur la constance, l'intensité et la dispersion de la radiation solaire, des vues qui ont été en grande partie adoptées par M. Faye. « Si des matériaux épars sur un grand espace viennent à se réunir à un centre d'action prépondérant, la chute de ces matériaux et par suite le choc qui anéantit la vitesse acquise est une source de chaleur bien plus abondante que toutes les actions chimiques opérant sur la même masse : le calcul montre que la quantité de chaleur développée par l'annulation de la force vive des matériaux de notre Soleil, en les supposant disséminés primitivement dans un très-grand espace, suffit pour expliquer l'énorme quantité de chaleur qu'il perd en la répandant en tout sens autour de lui [1]. »

M. Carrington, dans son remarquable ouvrage sur les taches solaires (*Observations of solar spots*, Lond., 1863), adhéra à l'hypothèse de M. Mayer, modifiée par M. Thomson, ainsi qu'à la théorie de John Herschel, qui assimile la distribution des taches, rares et passagères à l'équateur (région des calmes), nombreuses et persistantes dans les deux zones latérales (de 10 à 30 degrés de latitude héliocentrique), au phénomène des vents alizés sur le globe terrestre. M. Carrington eut surtout le mérite de mettre en évidence un fait capital, à savoir que la rotation des taches est d'autant plus lente que leur latitude est plus grande.

La lumière subit, selon les milieux ou les sources d'où elle émane, des modifications qui ont ouvert un champ

1. M. Faye, dans l'*Annuaire* de 1873, p. 523.

immense à l'analyse optique. F. Arago, au moyen de la polarisation chromatique et avec un instrument inventé par lui (le polariscope), a pu s'assurer que les substances solides et liquides en ignition émettent toujours de la lumière polarisée sous des incidences obliques, tandis que les gaz incandescents ou les flammes ne présentant jamais que de la lumière naturelle. Or ces expériences, appliquées au Soleil, ont donné pour résultat que la surface du Soleil n'est ni solide, ni liquide, mais gazeuse, ainsi que Kant l'avait le premier supposé.

Depuis 1842, les couronnes lumineuses et surtout les protubérances de couleur rose, qui se manifestent, pendant les éclipses totales de Soleil, autour de la Lune où son disque couvre entièrement celui du Soleil, avaient particulièrement fixé l'attention des physiciens astronomes. On était en train d'émettre à ce sujet beaucoup d'hypothèses, lorsque l'éclipse totale (dans l'Inde anglaise) du 18 août 1868 offrit l'occasion d'aborder la question avec des moyens d'observation perfectionnés. M. Janssen, nommé depuis membre de l'Académie des sciences, fut à cet effet envoyé par le gouvernement français à Guntoor, sur la côte de Coromandel. Cet habile observateur réussit, par une méthode fort simple (en plaçant le spectroscope, par une fente, en partie sur le disque solaire, et en partie en dehors de ce disque), à voir et à étudier les protubérances sur le Soleil même, indépendamment de toute éclipse. L'emploi de cette méthode lui permit d'établir : « 1° que les protubérances lumineuses, observées pendant les éclipses totales, appartiennent incontestablement aux régions circomsolaires; 2° que ces corps sont formés d'*hydrogène* incandescent, et que ce gaz y prédomine, s'il n'en forme la composition exclusive; 3° que les corps circomsolaires sont le siége de mouvements dont aucun phénomène terrestre ne peut donner une idée : des amas de matière dont le volume est plusieurs centaines de fois plus grand que celui de la Terre, se déplaçant et changeant complétement de

forme dans l'espace de quelques minutes[1]. » Ainsi donc, l'enveloppe extérieure, de couleur rose, du Soleil, celle qu'on a nommée la *chromosphère*, est essentiellement gazeuse, hydrogénée. Voilà un point nouveau, très-important, acquis à la science.

En voici un autre, plus important encore. Au lieu de recourir, pour s'éclairer sur la nature du Soleil, aux propriétés de la lumière polarisée, on s'est, depuis 1861 (époque de l'inauguration de l'analyse spectrale par MM. Kirchhoff et Bunsen), adressé aux raies du spectre solaire. Rappelons-nous d'abord ce principe, souvent répété en philosophie, à savoir que « l'action est égale à la réaction ». Les physiciens s'en sont emparés pour la lumière, en constatant que « l'émission est égale à l'absorption ». Un corps solide ou liquide incandescent donne un spectre continu et renfermant des rayons de toutes les réfrangibilités, tandis qu'un corps gazeux ne produit que des rayons d'une ou de plusieurs couleurs bien nettes et de réfrangibilités déterminées; le spectre les sépare et permet de les distinguer. Voilà pour l'émission. C'est exactement l'inverse pour l'absorption que ces corps font subir à la lumière qui les traverse. Un corps solide ou liquide transparent laisse passer tous les rayons en affaiblissant indistinctement leur éclat, tandis qu'un gaz éteint certains rayons d'une réfrangibilité nettement déterminée, et laisse passer intacts tous les autres. Ces données furent fecondées par un fait capital, montrant qu'un gaz porté à l'incandescence émet, comme source de lumière, précisément les rayons élémentaires qu'il absorberait si on lui faisait jouer le rôle de milieu absorbant. Si donc sur le trajet d'un rayon de lumière, émané d'un corps solide ou liquide incandescent, on interpose une flamme gazeuse contenant des traces de vapeurs métalliques, on verra aus-

1. *Étude spectrale des protubérances solaires*, dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes* pour l'an 1869.

sitôt se produire dans le spectre quelques raies noires bien tranchées, dont la présence montre l'absorption ou l'extinction des rayons lumineux correspondants. Ces mêmes raies seront brillantes, si la vapeur métallique est portée à une température assez élevée pour devenir elle-même source de lumière. C'est ainsi que le phénomène se renverse, au gré de l'expérimentateur. Ajoutons enfin que, quelque immense que soit l'espace que la lumière traverse, elle nous arrivera, après un temps incalculable, avec les propriétés caractéristiques qu'elle avait à son point de départ.

Partant de ces différentes données, Kirchhoff, Angstroem, Thalen, etc., sont parvenus à reconnaître, dans la chromophotosphère du Soleil, outre l'hydrogène, la présence du sodium, du calcium, du magnésium, du baryum, du fer, du manganèse, du chrôme, du nickel, du cobalt, du cuivre et du zinc, métaux qui tous entrent dans la composition chimique de la Terre [1]. Ces métaux, comme en général tous les corps, pendant qu'ils restent exposés à de très-hautes températures, perdent leurs affinités chimiques, et leurs vapeurs augmentent singulièrement l'éclat de l'hydrogène incandescent.

Rappelons, en passant, que les atmosphères de Vénus, de Mars, de Jupiter et de Saturne ont, d'après les observations du P. Secchi, une composition analogue à celle de l'atmosphère terrestre : la vapeur d'eau paraît y dominer. Enfin MM. Huggins et Miller ont fait voir, par de nombreuses analyses spectrales, que les étoiles mêmes participent de la composition chimique de la matière de notre monde. Quant aux nébuleuses, qui donnent un spectre gazeux, « ce sont, disent-ils, des systèmes dont la structure et le rôle dans l'univers sont totalement

1. *Mémoires de l'Académie* de Berlin, année 1861. — *Comptes rendus de l'Académie des sciences* de Paris, année 1865 (t. LXIII). — Delaunay, *Rapport sur les progrès de l'astronomie*, p. 28-29.

distincts et d'un autre ordre que le grand groupe de corps cosmiques dont notre Soleil et les étoiles fixes font partie[1]. »

N'oublions pas enfin que la photographie est venue puissamment concourir aux moyens d'investigation mis aujourd'hui en usage.

Tels sont, en somme, les éléments propres à nous éclairer sur la nature des corps célestes. Les débats entre M. Faye et le P. Secchi, pour ne citer que les maîtres les plus autorisés, se concentrent aujourd'hui sur la constitution physique du Soleil, et particulièrement sur la signification des taches solaires. Le P. Secchi, qui a publié tout un volume sur le *Soleil* (Paris, 1870, in-8°), et dont les observations presque journalières tendent à créer une véritable *météorologie solaire*, considère les taches du Soleil comme engendrées par des éruptions de vapeurs métalliques. Ces masses de vapeurs, restant suspendues dans la photosphère comme des îles flottantes, produiraient dans cette sphère brillante l'aspect de cavités. En un mot, d'après la théorie du P. Secchi, les taches solaires sont de simples *phénomènes d'éruption*, effet de l'ascension violente de masses gazeuses internes, qui vont trouer la photosphère.

Cette théorie s'éloigne beaucoup de celle de M. Faye, qui considère toutes les taches comme des mouvements gyratoires, comme de véritables cyclones ou tourbillons, directement engendrés dans la photosphère elle-même, sous l'influence de l'inégale vitesse de ses parallèles successifs. Puis allant au-devant des objections qu'on pourrait lui faire, M. Faye ajoute : « Cette apparente complication de courants opposés, fonctionnant sans cesse suivant des rayons d'une sphère gazeuse, les uns composés de vapeurs ascendantes, les autres consistant en filets descendants de gouttes liquides ou solides, n'est pas sans analogie dans la nature. Elle se réalise chaque jour sur

1 *Philosophical Transactions,* année 1863 et suiv.

notre globe où elle constitue le mécanisme de la circulation aérienne des eaux, entourant notre enveloppe de nuages et fournit la pluie qui retombe sur le sol. Seulement ici la cause est externe ; il faudrait remonter aux temps les plus reculés, à l'époque où la croûte terrestre était encore chaude, pour établir une assimilation plus complète[1]. »

Ces deux astronomes ont reuni autour de leurs idées des partisans et des adversaires animés d'un même zèle. La vérité jaillira peut-être, espérons-le, du conflit des opinions contraires. Pour cela il importe de ne pas oublier qu'il s'agit ici d'une question toute mécanique, de la dynamique des gaz, soit qu'on adopte l'idée des courants éruptifs, ascendants ou descendants, soit qu'on choisisse l'idée de simples mouvements gyratoires, nés dans la photosphère. Seulement, pour arriver à conclure légitimement de ce qui se passe sur notre planète à ce qui a lieu sur le Soleil, il faudra tout à la fois s'armer de toutes les données de la chimie et de l'optique, et tenir grandement compte des différences fondamentales qui existent entre ces deux globes. Il n'y a sur le Soleil ni courant horizontal, venant des pôles, ni courant venant de l'équateur. Ce fait, bien constaté, joint à l'absence d'un sol solide sur le Soleil, voilà ce qui constitue la différence mécanique entre les mouvements solaires et les mouvements de l'atmosphère terrestre.

En attendant qu'on parvienne à s'entendre sur la question mise à l'ordre du jour, on pourra admettre comme démontré que le Soleil est une étoile, comme on l'avait depuis longtemps soupçonné, et qu'à raison de la périodicité de ses taches, il appartient très-probablement à la classe assez nombreuse des *étoiles variables*.

1. M. Faye, dans l'*Annuaire du Bureau des longit.* de 1873, p. 517.

Éclipses. — Leur étude pour connaître la constitution physique de la Lune et du Soleil.

Depuis un siècle et demi on s'est attaché à observer avec soin les éclipses pour perfectionner les Tables de la Lune et du Soleil, mais surtout pour mieux approfondir la constitution physique de ces deux astres. Théoriquement, la Lune en s'éclipsant devrait être complétement invisible lorsqu'elle pénètre dans le milieu du cône d'ombre de la Terre. Cependant il n'en est pas ainsi en réalité : la Lune, tout en perdant son éclat, reste visible, en prenant des teintes variées, parmi lesquelles domine le rouge sombre. Ces teintes tiennent à la réfraction que la lumière du Soleil éprouve dans l'atmosphère terrestre si variable, et qui se réfléchit de là sur la Lune. Quelques astronomes, au nombre desquels se trouvait W. Herschel, supposaient à notre satellite la propriété d'émettre de la lumière. Si cette hypothèse était fondée, la Lune ne devrait jamais devenir totalement invisible. Or on cite des cas où la Lune disparaissait en totalité; tel fut, entre autres, le cas de l'éclipse du 10 juin 1816 : la Lune disparut, suivant Beer et Maedler, entièrement à Londres et à Dresde. Pour expliquer ce fait, il suffit d'admettre que les régions de l'atmosphère terrestre que doivent traverser les rayons solaires susceptibles de parvenir à la Lune, peuvent être couvertes d'épais nuages.

L'éclipse totale du Soleil du 18 juillet 1860 remit sur le tapis l'existence problématique d'une atmosphère lunaire, à cause de la forme arrondie et tronquée qu'avaient les cornes du croissant solaire au commencement et à la fin de l'éclipse[1]. Cependant le fait d'une atmosphère lu-

1. Voyez le *Mémoire* et les dessins de M. Warren de la Rue sur l'éclipse totale du 18 juillet 1860.

naire paraît contredit par l'occultation des étoiles : l'étoile qui passe derrière la Lune conserve tout son éclat, à son entrée aussi bien qu'à sa sortie : ce passage est instantané, comme l'avaient déjà observé Halley et Jacques Cassini, en 1718 et 1720; ils avaient tiré de là la conséquence importante que le diamètre apparent d'une étoile, même de première grandeur, est, à cause de son extrême éloignement, à peu près nul.

Nous venons de voir (p. 540) quel jour a répandu sur la constitution physique du Soleil l'éclipse totale de 1868, observée dans l'Inde par M. Janssen.

Étoiles filantes (bolides, aérolithes).

Ces corps lumineux, errants (bolides), que la Terre rencontre dans sa course annuelle autour du Soleil et qui y tombent quelquefois, sous forme de masses pierreuses (aérolithes), leur nature et leurs mouvements ont en tout temps fixé l'attention des observateurs. Les chutes d'aérolithes, qu'on a notées comme des événements rares, seraient probablement reconnues comme très-fréquentes, si les hommes étaient, sur toute la surface du globe, également attentifs à un phénomène qui peut, comme l'a remarqué M. de Reichenbach, se présenter très-souvent sous la forme d'une véritable poussière cosmique

Chladni (né à Wittemberg en 1756, mort à Breslau en 1827) fit le premier voir, dans son ouvrage *Sur les météores ignés* (Vienne, 1819), que les relations de masses pierreuses tombées du ciel ne sont pas des contes comme on l'avait longtemps supposé, mais des observations d'un phénomène réel, et que ces météores ne tirent pas leur origine de la Terre [1]. Il fut suivi dans cette voie par

1. L'analyse chimique a constaté dans les aérolithes, qui sont la

Benzenberg (*Die Sternschnuppen;* Hambourg, 1839, in-8°), Bigot de Morogues, Hoff, Kaemtz, Quetelet, etc., qui ont dressé des catalogues de bolides.

Les étoiles filantes ont été, dans ces derniers temps, l'objet d'une étude spéciale de la part de M. Coulvier-Gravier. Ses observations ont confirmé que, dans deux mois de l'année, aux environs du 10 août et du 12 novembre, le nombre des étoiles filantes est souvent plus que décuple du nombre de celles qui apparaissent aux autres époques de l'année. Ces apparitions périodiques semblent osciller entre un maximum et un minimum. Considérablement affaiblies depuis 1834, elles ont, depuis 1862, suivi une marche ascendante et ont atteint, en 1867, un nouveau maximum, comme l'avait longtemps auparavant prédit Olbers.

Prenant pour base de ses recherches les observations de M. Coulvier-Gravier, M. Schiaparelli est arrivé à établir que les étoiles filantes sont animées de vitesses comparables à celles d'une comète venant des profondeurs de l'espace [1]. Partant de cette idée, l'astronome de Milan examina l'action qu'un corps comme le Soleil ou une planète peut exercer sur un essaim de corpuscules cosmiques, et il trouva que le Soleil peut le changer en un courant parabolique, tandis qu'une planète le changerait en un courant annulaire, elliptique. S'appuyant ensuite sur les centres d'émanation des étoiles filantes, observées en si grand nombre, vers le 10 août et vers le 12 novembre, il calcula les orbites décrites par les deux essaims qui se montrent à ces deux époques, et constata l'identité de l'orbite de l'essaim d'août avec l'orbite de la grande comète de 1862; de même que M. Peters fils constata l'identité de l'orbite de l'essaim de novembre avec celle de la

plupart magnétiques, particulièrement la présence du fer, du manganèse, du nickel, du cobalt, du chrôme, du cuivre, du soufre, du phosphore et de l'oxygène.

1. Lettre de M. Schiaparelli au P. Secchi, datée du 25 août 1866.

comète découverte par M. Tempel, à Marseille, au commencement de l'année 1866. M. Le Verrier, familiarisé depuis longtemps, par ses recherches sur la comète de Lexell, avec les changements de forme que les orbites des comètes peuvent éprouver de la part des planètes, attribua l'origine de l'essaim de novembre à l'action de la planète Uranus, près de laquelle celui-ci a dû passer en l'an 126 de notre ère[1]. Suivant M. Schiaparelli, cette origine est due, non pas à l'action d'Uranus, mais à celle de Jupiter ou de Saturne.

Lumière zodiacale.

Dans les belles soirées de mars et d'avril on aperçoit quelquefois, du côté où le Soleil s'est couché, une lueur opaline sous la forme d'un cône dont la base s'appuie sur l'horizon et le sommet se dirige vers les constellations du zodiaque; c'est la *lumière zodiacale.* Childrey, auteur d'une *Histoire naturelle de l'Angleterre*, publiée vers 1659, passe pour l'avoir le premier observée. Fatio de Duillier, D. Cassini, Mairan, Euler, Laplace, A. de Humboldt, ont étudié la lumière zodiacale sous différents points de vue. D. Cassini la comparait à la queue d'une comète, que la lumière crépusculaire suffirait pour faire disparaître. A. de Humboldt l'observa dans les régions tropicales de l'Amérique, où elle est d'une intensité lumineuse beaucoup plus grande que dans nos climats

Qu'est-ce que la lumière zodiacale? Les opinions sont encore partagées là-dessus. Suivant Laplace, c'est une zone de matière subtile, provenant de la nébuleuse primitive qui, par ses condensations, a donné naissance au Soleil et aux planètes de notre monde. D'après l'hypothèse la plus probable, c'est un anneau vaporeux, aplati,

1. *Comptes rendus* de l'Académie des sciences, 21 janvier 1867.

entourant le Soleil à une certaine distance, et dont la direction, tantôt coïncide avec le plan de l'orbite terrestre, tantôt fait un angle avec l'écliptique, comme l'ont observé récemment M. Heis à Münster, et M. Jones au Japon. Quoi qu'il en soit, ce brillant phénomène reste encore à expliquer d'une manière complète et satisfaisante.

Les Planètes.

Relativement à la Terre, à laquelle se rapportent toutes nos observations, les planètes ont été classées en *internes* ou *inférieures*, et en *externes* ou *supérieures*.

Ces deux groupes sont nettement caractérisés, le premier (comprenant Mercure et Vénus) par l'absence de tout satellite, par une rotation moins rapide et par une densité plus forte ; le second (comprenant Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune), par la présence de satellites plus ou moins nombreux, par une rotation plus rapide et une densité beaucoup moins grande. Mais dans cette classification on a laissé de côté la Terre et les petites planètes situées entre Mars et Jupiter.

La division des planètes en *anciennes* et en *modernes*, c'est-à-dire découvertes à notre époque, est plus conforme à l'ordre historique. C'est celle-là que nous adopterons.

Planètes anciennes.

Mercure.— Parmi les planètes connues des anciens, la plus rapprochée du Soleil, c'est Mercure. Cette planète est si difficile à distinguer dans nos climats à horizons brumeux, que bien de nos astronomes ne l'ont jamais aperçue, et l'on raconte que Copernic, sur son lit de mort, exprima le regret de ne jamais avoir vu Mercure.

Aussi Mercure fut-il pendant longtemps fort mal connu. Ce n'est guère que depuis les *Tables de Mercure*, publiées au commencement de notre siècle par Lalande, par Triesnecker, par Lindenau [1], et surtout depuis les travaux de Harding, de Schroeter, de Flaugergues, de Laplace, et plus particulièrement depuis les travaux récents de M. Le Verrier [2], que l'on a une connaissance plus exacte des éléments de cette planète, dont la distance moyenne au Soleil est de 0,387, qui tourne en 24 heures 5 minutes et demie autour d'elle-même, et qui met près de trois mois (87 jours 23 heures 15 minutes) à parcourir son orbite, formant avec l'écliptique un angle de 7° 0′ 8″. Le maximum de sa distance apparente au Soleil (élongation) ne dépasse pas 30 degrés.

Mercure passe comme un globule noir sur le disque du Soleil (où il ne sous-tend qu'un angle d'environ 12″ dans sa conjonction inférieure) toutes les fois que sa latitude ne dépasse pas le demi-diamètre de l'astre radieux. C'est là ce qui permet de calculer et d'annoncer longtemps d'avance les passages de Mercure.

Depuis Gassendi, en 1631 [3], on ne compte guère, jusqu'au milieu de notre siècle, qu'une vingtaine de ces observations, à cause des circonstances atmosphériques, qui sont rarement favorables. Le premier passage complétement observé à Paris le fut, le 5 novembre 1793, par Maraldi et Cassini : il s'écoula 4^h 30^m entre l'entrée de la planète et sa sortie du disque du Soleil. De nos jours (le 8 mai 1845), le phénomène a été observé dans son entier aux États-Unis par M. Mitchell (à Cincinnati), et aux îles Marquises par M. Gaussin (à Noukahiva); sa durée a été de 6^h 23^m.

1. *Investigatio nova orbitæ a Mercurio circa Solem descriptæ*, 1813.
2. *Théorie du mouvement de Mercure*, mémoire publié en 1845. Le travail de M. Le Verrier embrasse environ deux cents observations complètes, faites à l'Observatoire de Paris dans l'intervalle de 1836 à 1842.
3. Voyez plus haut p. 406.

Dans le passage observé le 5 novembre 1789, Messier, Méchain et Schroeter assurent avoir distingué autour du disque noir de Mercure un anneau mince, faiblement lumineux. Ils ont attribué cette sorte d'auréole à l'effet d'une atmosphère épaisse dont la planète serait entourée. Mais W Herschel dit avoir toujours vu le contour du disque de Mercure nettement terminé pendant toute la durée du passage. Ce résultat négatif était loin de trancher la question. Il y a d'autres phénomènes qui viennent à l'appui de l'existence d'une atmosphère de Mercure. Tels sont, 1° les bandes qui changent souvent de position et d'éclat; 2° un défaut de transparence, qui diminue l'étendue de la phase visible. Les dentelures de la concavité du croissant et surtout la troncature de la corne méridionale prouvent l'existence de montagnes très-élevées à la surface de Mercure. L'étendue de cette troncature représente à peu près la 125e partie du rayon de la planète, c'est-à-dire qu'elle a environ 20 kilomètres de haut. La plus grande hauteur de nos montagnes n'atteint pas la 700e partie du rayon terrestre.

La mesure de l'intervalle de temps compris entre deux apparitions ou deux disparitions successives de la troncature de la corne méridionale a servi à montrer que Mercure tourne sur lui-même en $25^h 5^m$. Les jours mercuriels diffèrent donc peu des jours terrestres. Mais Mercure reçoit du Soleil une quantité de chaleur et de lumière qui, au périhélie, est près de onze fois plus grande que celle dont la Terre subit l'influence.

Y a-t-il des volcans dans Mercure? Le point lumineux qu'aperçurent (pendant le passage du 7 mai 1799) Schroeter et Harding à Lilienthal, et Kœhler à Dresde, tendrait à le prouver. Mais aucune autre observation n'est venue depuis le confirmer [1].

1. Les premiers essais qui aient été faits pour démontrer la constitution physique de Mercure se trouvent réunis dans Schroeter, *Hermographische Fragmente*, etc.; Gœttingue, 1816.

VÉNUS. — Cette brillante planète, de tout temps célébrée par les poëtes:

Hesperus, qui est la plus belle étoile du ciel[1],

n'a commencé à être scientifiquement étudiée que depuis les travaux modernes de Lalande, de Triesnecker, Schroeter et Lindenau (*Tabulæ Veneris novæ.*) Il résulte de ces travaux que Vénus tourne autour d'elle-même (d'après la régularité des déformations de ses cornes)[2], en 23 heures et 23 minutes, et autour du Soleil en 224ʲ,7; que sa distance moyenne de la Terre au Soleil est de 0,723 (la distance de la Terre au Soleil étant prise pour unité); que son orbite est presque circulaire, inclinée de 3° 23′ 29″ sur le plan de l'écliptique; que son aplatissement est à peu près nul, etc.

Depuis la découverte des phases de Vénus par Galilée, bien des lunettes ont été braquées sur l'Étoile du Berger, principalement pour en étudier la constitution physique. Ce qui frappe dans l'aspect de cette belle planète, examinée, dans sa plus grande élongation, avec de fortes lunettes, ce sont des aspérités considérables de la ligne qui sépare la partie éclairée du croissant de la partie non éclairée. A ces aspérités, plus fortes que celles du croissant de la Lune, il faut ajouter la troncature ou l'allongement irrégulier des cornes. Ces phénomènes, très-bien observés par Beer et Maedler[3], ont servi à prouver l'existence de

1. Homère, *Iliade*, XXII, 318:

Ἕσπερος, ὃς κάλλιστος ἐν οὐρανῷ ἵσταται ἀστὴρ.

2. Les taches, les unes sombres, les autres brillantes, que D. Cassini aperçut, en 1665 et 1667, sur Vénus, se prêtaient moins bien que les taches de Mars et de Jupiter à une évaluation exacte du mouvement rotatoire de la planète.

3. Ces astronomes ont donné les dessins de dix-huit contours de Vénus, tels qu'ils s'étaient présentés avant les conjonctions inférieures de cette planète en 1833 et 1836.

très-hautes montagnes à la surface de Vénus. Ce fut Lahire qui aperçut le premier, en août 1700, les inégalités de la partie intérieure du croissant. Sa lunette avait environ 5 mètres de distance focale, et grossissait 90 fois. Peu de temps après, Derham fit la même observation. « En regardant, dit-il, Vénus avec les verres de M. Huygens, et cela pendant plusieurs nuits lorsqu'elle était dans son périgée et très-cornue, j'ai cru y voir des sinuosités et des inégalités sur la partie concave de son bord éclairé, telles que nous en voyons dans la Nouvelle Lune [1] ».

Schroeter vit, le 28 décembre 1789, le 31 janvier 1790 et le 27 février 1793, près de la corne méridionale un point brillant, tout à fait isolé, c'est-à-dire séparé de la ligne cornue du croissant par un espace obscur. La réalité du phénomène fut confirmée par le témoignage d'autres observateurs; ce ne pouvait donc être que le sommet d'une très-haute montagne frappé par les rayons du Soleil levant, comme on en voit sur la Lune. Schroeter partit de là pour établir que les montagnes de Vénus peuvent atteindre 44 000 mètres d'altitude, c'est-à-dire qu'elles sont cinq fois plus élevées que les plus hautes montagnes de la Terre. Nos montagnes de l'Himalaya ne sauraient donner qu'une faible idée des paysages alpestres de Vénus.

Ces résultats, sur lesquels W. Herschel essaya vainement de répandre quelques doutes, peuvent être rapprochés d'une observation faite en 1726 par Bianchini [2]. Cet astronome aperçut vers le centre de la planète sept taches: il les donna pour des mers communiquant entre elles par des détroits et offrant huit promontoires élevés, distincts. Il en dessina les figures et leur donna les noms des na-

1. Derham, Préface de la *Théologie astronomique.*

2. François *Bianchini* (né à Vérone le 13 décembre 1662, mort à Rome le 2 mars 1729) perfectionna les lunettes, et fut chargé par Innocent XIII de dresser un gnomon dans l'église Sainte-Marie des Anges, à Rome. Il écrivit de nombreux mémoires astronomiques et archéologiques, qui se trouvent disséminés dans différents recueils.

vigateurs les plus célèbres, dans un mémoire intitulé : *Hesperi et Phosphori nova phænomena, sive observationes circa planetam Veneris:* Rome, 1728, in-fol.

Une lumière très-pâle, semblable à celle de nos crépuscules, fait voir la partie éclairée de Vénus au delà des limites déterminées par le calcul. Il résulte des observations de Herschel et de Schroeter que c'est de la lumière refractée par l'atmosphère de la planète. L'existence de cette atmosphère est ainsi mise hors de toute contestation. Peut-être y faut-il chercher la cause de la visibilité, plus d'une fois observée, de Vénus en plein jour. Ces cas se présentent 69 jours avant ou après sa conjonction inférieure, aux moments où la planète est à 40^0 à l'orient ou à l'occident du Soleil. Son diamètre apparent est alors de 40″, bien que sa partie éclairée ait à peine 10″ de largeur.

La partie non éclairée du disque de Vénus devient quelquefois visible comme la lumière cendrée de la Lune. Ce phénomène fut pour la première fois observé et décrit par Derham. « Je me souviens, dit-il, distinctement que, comme je regardais Vénus, il y a quelques années, pendant qu'elle était dans son périgée et qu'elle avait ses plus grandes cornes, je voyais la partie obscure de son globe de même que nous voyons celle de la Lune peu de temps après sa conjonction. » Depuis lors, d'autres observateurs, tels qu'André Mayer en 1759 Harding et Schroeter, en 1806, Gruithuisen en 1825, aperçurent le même phénomène. Herschel en attribuait la cause à une certaine phosphorescence de l'atmosphère de la planète. Quelques-uns ont cru voir dans la lumière cendrée de Vénus l'existence d'un satellite, de manière que cette planète aurait son clair de lune comme la Terre. Il y eut même des astronomes qui prétendaient avoir distingué ce satellite. Lambert alla jusqu'à en calculer les éléments. Mais rien n'est venu jusqu'à présent confirmer ces données imaginaires.

Mars. — De toutes les Tables planétaires, celles de Mars

étaient, jusqu'au commencement de notre siècle, les plus défectueuses. Depuis lors, Oriani, Schubert, Burckhardt, Lefrançais, Monteiro, Triesnecker, Laplace, Lindenau, etc., ont contribué au perfectionnement de ces Tables. Il résulte de leurs travaux que Mars accomplit sa révolution sidérale en $686^j,98$, que sa distance moyenne au Soleil est de 1,524, que l'inclinaison de son orbite sur l'écliptique est de $1^0\ 51'\ 6'',2$, etc. N'oublions pas que c'est la grande ellipticité de son orbite qui a fait découvrir à Kepler les lois de l'astronomie.

Les phases de Mars, très-faibles comparativement à celles de Vénus, furent pour la première fois observées, selon Riccioli, par Fontana, à Naples, le 24 août 1638. Elles avaient été déjà entrevues par Galilée[1]. L'observation des taches permanentes de Mars remonte à la même époque : elles furent vues, en 1636, par Fontana, en 1640 par le P. Zucchi, et en 1644 par le P. Bartoldi. La durée de la rotation de Mars, dont s'étaient déjà occupés Dominique Cassini, Maraldi et W. Herschel, est, d'après les observations de Maedler et Beer, de $24^h\ 37^m\ 23^s$. L'aplatissement de Mars, que W. Herschel porta, en 1784, à $\frac{1}{16}$, et que Bessel nia tout à fait, a été porté par F. Arago à environ $\frac{1}{30}$.

L'étude de la constitution physique de Mars pourra, par analogie, répandre beaucoup de lumière sur la nature des autres planètes, moins accessibles à nos moyens d'investigation. Les premières observations des taches blanches polaires paraissent remonter au milieu du dix-septième siècle. Mais c'est Maraldi qui s'en occupa le premier avec suite. Dès 1706 il observa les taches blanches polaires de Mars. Répétant ses observations en 1719, il vit ces taches changer d'étendue, et signala la disparition temporaire de celles du pôle boréal. Ces taches polaires lui semblaient former des protubérances et interrompre la courbure ré-

1. Lettre de Galilée au P. Castelli, écrite le 30 décembre 1610.

gulière du disque de Mars [1]. Herschel observa la tache blanche du pôle sud, en 1777 et 1781, et surtout en 1783, depuis le mois de mai jusqu'au mois de novembre, époque où elle cessa d'être éclairée par le Soleil. Il trouva que le milieu de cette tache coïncidait assez bien avec le pôle sud, tandis que le centre de la tache du pôle nord s'écartait de ce pôle d'environ 13 degrés. Flaugergues et Schroeter répétèrent ces observations en 1798 et 1807. Gruithuisen remarqua, en octobre 1813 et en août 1815, que le maximum d'étendue des taches du pôle sud coïncidait avec l'époque qui correspond à l'automne de l'hémisphère austral de Mars; de même que, le 3 avril 1814, il vit le maximum d'étendue de cette tache coïncider avec l'époque où les jours de Mars commencent à grandir, c'est-à-dire avec la saison d'hiver du même hémisphère [2]. Des changements analogues furent observés, dans l'hémisphère boréal, sur la tache blanche du pôle nord.

Que conclure de ces observations? Que les régions polaires de Mars sont, comme les régions polaires de la Terre, couvertes de glaces, et qu'elles augmentent ou diminuent d'étendue suivant l'action du froid ou de la chaleur, action qui rappelle nos hivers et nos étés. Maedler et Beer poussèrent cette explication jusqu'aux dernières conséquences. « Si les taches polaires, disaient-ils, sont véritablement de la neige, leur diminution à l'approche de l'été ne peut avoir lieu que par une fonte et évaporation continuelle; l'épaisseur de cette neige est, selon toute vraisemblance, très-considérable. Par suite de sa fonte, le sol doit devenir très-humide. Or, un sol marécageux est certainement de toutes les parties d'une surface celle qui est le moins susceptible de réflexion et qui dès lors doit nous paraître plus foncée. » Ces mêmes astronomes ont constaté que sur les

1. Maraldi, dans les *Mémoires de l'Académie des sciences*, Paris, 1720
2. *Astronomische Jahrbücher*, année 1817, p. 186; année 1819, p. 251, et année 1825, p. 291.

668 jours et 16 heures dont se compose une année solaire de Mars, l'été de l'hémisphère boréal de la planète renferme, en nombres ronds, 372 jours et l'hiver 296 jours. La même distribution s'applique aux étés et aux hivers de l'hémisphère austral. Cette inégalité de durée entre la saison froide et la saison chaude ne doit pas, d'après un théorème appliqué par Lambert à la théorie des saisons terrestres, empêcher les habitants de Mars de jouir de la même température moyenne. Par suite de l'inclinaison de l'axe de Mars sur le plan de son orbite, le pôle sud se trouve tourné vers le Soleil lorsque la planète est à une de ses moindres distances du foyer de lumière et de chaleur, tandis que le pôle nord est à une de ses plus grandes distances lorsque arrive l'été pour l'hémisphère boréal. Il résulte de là que la calotte glacée de l'hémisphère austral varie dans de plus grandes limites que celle de l'hémisphère boréal. La même particularité s'observe pour le pôle austral de notre globe. Sur la Terre, comme sur Mars, les pôles de froid ne coïncident pas non plus exactement avec les pôles de rotation.

Mars est de tous les astres celui qui présente la plus forte coloration rouge, et, sous ce rapport, il n'a subi, depuis mémoire d'homme, aucun changement, puisque le mot de *rouge* se retrouve au fond de tous les noms qu'il porte dans les langues les plus anciennes. Ainsi dans l'idiome sanscrit, d'où dérivent toutes les langues indo-européennes, Mars s'appelle *Lohitanga*, de *lohita*, rouge, et *anga*, corps, Cette coloration rouge, qui paraît plus intense à l'œil nu que dans une lunette, d'où vient-elle? On a voulu l'attribuer à la teinte des lueurs crépusculaires dont l'atmosphère de Mars serait le siége. Mais si cette explication était vraie, la teinte rouge devrait atteindre son maximum sur les bords et dans les régions polaires. Or c'est le contraire qui a lieu. Lambert en cherchait la cause dans la couleur dominante de la végétation de Mars, qui, au lieu d'être verte comme sur notre planète, serait rouge. Si le

fait est exact, la teinte rouge devra éprouver des changements avec les saisons estivales et hivernales de la planète. Mais jusqu'à présent l'observation est restée muette à cet égard. Enfin, du règne végétal on est descendu au règne minéral, beaucoup moins changeant dans son aspect ; aussi croit-on avoir trouvé la véritable cause de la coloration rouge dans des terrains ocreux, dans des roches ferrugineuses, dont une grande partie de la surface de Mars serait couverte. Cette explication est la plus plausible. Quant aux taches sombres, d'une teinte bleuâtre, qu'on a remarquées à côté des taches rouges et brillantes (les roches ferrugineuses réfléchissent vivement la lumière solaire), elles paraissent former des lacs ou des mers.

Enfin, indépendamment des taches permanentes, il existe sur Mars des taches de nuances très-variables. Ces nuances ont été particulièrement observées en 1862 par M. Norman Lockyer, pendant l'opposition de la planète. « On observe, dit-il, de jour en jour, d'heure en heure, des changements de détail dans les nuances des diverses régions, sombres ou lumineuses de la planète. Ces changements, je n'en puis douter, ont pour cause le passage des nuages en avant des différentes taches. » D'autres phénomènes s'ajoutent à ceux-là pour mettre hors de doute l'existence d'une atmosphère de Mars, d'une transparence très-inégale et souvent troublée. C'est Arago qui a montré que la coloration rouge de Mars n'est point due à une modification que les rayons solaires auraient éprouvée dans l'atmosphère de cette planète.

Tout récemment, M. C. Flammarion s'est occupé de la constitution physique de Mars. Il résulte d'un travail qu'il a communiqué à l'Académie des sciences (juillet 1873), que la météorologie de Mars est à peu près la même que celle de la Terre, que l'eau y est la même que sur notre globe, et qu'il y a un peu plus de terres que de mers. L'auteur attribue, comme Lambert, la coloration rouge de la planète à une végétation particulière. Cette opinion

a déjà été réfutée, parce que la végétation change avec les saisons, si les choses doivent se passer sur Mars comme sur la Terre.

Jupiter. — Jupiter partagea, en tout temps, avec Vénus la curiosité de tous les mortels qui lèvent les yeux pour contempler les astres. Mais la théorie de ses mouvements n'a été un objet d'étude sérieux que depuis les travaux de Lambert, de Lalande, de Delambre, de Bouvard, de Lindenau, de Zach, de W. Herschel, de Schroeter, de Bessel, etc. De leurs travaux on a déduit 5,203 pour la distance moyenne de Jupiter au Soleil; 1°, 19′ pour l'inclinaison de son orbite sur l'écliptique; 11 ans 10 mois 17j.,6 pour la durée de sa révolution sidérale, etc. Les déterminations de la durée de rotation faites, sur l'observation des taches, par différents astronomes, depuis Cassini (en 1665) jusqu'à Airy (en 1835), varient entre $9^h\ 56^m\ 5^s$ et $9^h\ 55^m\ 24^s$. Les différences obtenues pour son aplatissement varient depuis un $\frac{1}{20}$ jusqu'à un $\frac{1}{12}$. Elles montrent que la question est loin d'être nettement résolue.

Nous avons parlé plus haut de la découverte des satellites de Jupiter[1]. Comme pour la Lune et probablement pour tous les satellites, la durée de la rotation autour de leur axe est égale au temps de la révolution sidérale autour de la planète qu'ils accompagnent, et ils présentent tous constamment la même face aux habitants de leurs planètes respectives.

Outre les taches, on a découvert sur Jupiter des bandes obscures, parallèles, perpendiculaires à son axe de rotation, faciles à distinguer, même avec des lunettes d'un faible grossissement. Les deux bandes, centrales, l'une au nord, et l'autre au midi de l'équateur, furent, rappelons-le, aperçues, pour la première fois, le 17 mai 1630, par le P. Zucchi. Sont-elles permanentes? Hévélius, dans

1. Voyez p. 379.

sa *Sélénographie*, affirme n'en avoir point vu en 1647. W. Herschel ne vit de même une fois (en 1792) aucune espèce de bande sur Jupiter. Suivant Maedler, la bande boréale s'était, en 1834 et 1835, effacée sur tout le pourtour de la planète, et en décembre 1835 la bande australe s'était longitudinalement divisée en deux.

Outre les deux bandes centrales, signalées par le P. Zucchi, D. Cassini aperçut, le 16 décembre 1690, deux bandes boréales et deux bandes australes, en tout six bandes parallèles, qui ne faisaient pas le tour entier de la planète. Dejà Huygens, dans son *Systema saturninum*, attribuait les bandes de Jupiter à des nuages, qui impliquent l'existence d'une atmosphère. Cette opinion était partagée par Cassini; seulement, pour expliquer la permanence de la bande centrale méridionale, il admettait dans la région équatoriale de la planète un large sillon liquide, bordé au midi et au nord par des terres fermes, capables de réfléchir beaucoup de lumière.

Les bandes obscures sont séparées par des bandes brillantes. D'après l'opinion de W. Herschel, émise en 1793, les bandes brillantes sont les zones où l'atmosphère de Jupiter est remplie de nuages, tandis que les bandes obscures correspondraient aux régions où l'atmosphère, complétement sereine, permettrait aux rayons du Soleil de pénétrer jusqu'à l'enveloppe solide de la planète, réfléchissant moins fortement la lumière. Dès 1781, Herschel avait adopté l'idée de Fontenelle, qui admettait dans les régions équatoriales de Jupiter des vents analogues à nos vents alizés.

Arago qui, dès 1810, s'était occupé de ces intéressantes questions d'astronomie physique, inclinait vers l'explication que W. Herschel avait donnée des bandes lumineuses et des bandes sombres. « Tout ce qu'on peut, dit-il, conclure de cette circonstance singulière que la bande centrale lumineuse de Jupiter et que les bandes obscures qui la bornent au nord et au midi ne se prolon-

gent pas jusqu'aux bords de la planète, c'est que la diminution d'éclat provenant de l'inclinaison sous laquelle les nuages formant la bande centrale se présentent à nous, et l'augmentation d'intensité provenant d'une plus grande étendue d'atmosphère correspondante aux bandes obscures près du bord, se compensent à tel point que les bandes obscures et la bande centrale sont, près du bord, de la même intensité[1]. » — Au moyen d'une lunette, munie d'un prisme biréfringent, Arago découvrit, en 1814, qu'à partir des pôles de Jupiter, dans un espace assez grand, la lumière que la planète nous réfléchit est au moins deux fois plus faible que celle qui nous arrive des régions voisines de l'équateur.

La masse de Jupiter, qui est 338 fois plus considérable que celle de la Terre, a particulièrement servi, comme cause troublante, à contrôler l'exactitude de la loi de Newton. Des observations faites par Pound, du quatrième satellite, Laplace déduisit $\frac{1}{1067}$ pour la masse de Jupiter, celle du Soleil étant prise pour unité. Des perturbations de Saturne, Bouvard tira $\frac{1}{1070}$; des perturbations exercées par Jupiter sur la comète d'Encke, cet astronome déduisit $\frac{1}{1050}$; les perturbations de Junon donnèrent à Nicolaï $\frac{1}{1050}$. Ce dernier chiffre a été généralement adopté. Mais en considérant les différences, quoique très-petites, de ces résultats, déduites des perturbations produites par Jupiter dans les mouvements des astres voisins, on se demandait si l'attraction s'exerce réellement, comme l'avait dit Newton, dans la proportion exacte des masses, et si elle ne pourrait pas, comme l'attraction magnétique, varier d'intensité suivant la nature des matières en présence. Mais on a plus aucun doute sur l'exactitude de la loi, depuis que Bessel a montré que des pendules de même longueur, faites avec des substances hétérogènes, telles que métalloïdes, métaux, ivoire, etc., ne cessent pas, toutes cir-

1. F. Arago, *Astronomie populaire*, t. IV, p. 343.

constances étant égales d'ailleurs, de donner les mêmes oscillations.

Saturne. — De tout temps on croyait Saturne, comme tous les astres, parfaitement arrondi, quand Galilée lui trouva un aspect anguleux, ce qui le lui fit prendre pour un assemblage d'au moins trois étoiles[1]. Comme cette déformation apparente subissait d'incompréhensibles changements, il se découragea au point de s'imaginer que tout ce que les verres de ses lunettes lui avaient fait jusqu'alors voir, pourrait bien n'être que de pures illusions ; et il cessa, comme nous l'avons raconté, de s'occuper de Saturne. En 1646, Hévélius déclara à son tour ne rien comprendre aux phénomènes de déformation que lui offraient les observations de Saturne. Il les considérait comme accidentels ou dépendants de causes passagères, lorsqu'il s'arrêta, dès 1656, à la pensée que Saturne était triple, composé d'une portion centrale, ovalaire, et de deux portions latérales, espèces de lunules, ayant la forme de croissants à courbure hyperbolique, attachées par leurs pointes au corps central. Huygens fit de Saturne un sujet d'observations assidues, avec son télescope de sept mètres, et il en publia les résultats en 1659. Ce fut lui qui démontra l'existence d'un anneau entourant cette planète, et la disparition des anses, qui avaient tant découragé Galilée, devint pour Huygens la pierre de touche de son explication[2]. Mais sa théorie, malgré son évidence, fut loin d'être généralement adoptée. Riccioli la combattait, et Gallet d'Avignon soutenait que l'anneau de Saturne n'était que des effets de réflexion de la lumière sur des surfaces convexes[3]. Auzout aperçut, en 1662, l'ombre de Saturne sur l'anneau. L'existence

1. Lettre à Castelli du 30 décembre 1610.
2. Voy. plus haut p. 444.
3. *Journal des Savants*, 12 juin 1684.

de cette ombre a été confirmée par des observateurs récents, tels que Schwabe, Harding, O. Struve et J. Herschel. En 1666, Hooke observa que l'anneau était plus lumineux que la planète[1]. En 1675, D. Cassini découvrit que l'anneau de Saturne est partagé dans toute sa longueur par une bande obscure, d'où deux parties d'intensité disssemblable. « La partie intérieure est, disait-il, fort claire, et l'extérieure un peu obscure, la différence de teinte étant celle de l'argent mat à l'argent bruni[2]. » Il fut, depuis, reconnu par W. Herschel que l'anneau de Saturne se compose au moins de deux anneaux, l'un extérieur, l'autre intérieur, séparés par une bande noire, improprement appelée *bande Herschélienne*. La bande obscure, cet intervalle compris entre les deux anneaux, est-elle dépourvue de toute matière? Plusieurs observations tendraient à le prouver; mais il n'y a pas encore de certitude. En 1792, Herschel reconnut que la bande « conserve constamment la même largeur, que son contour est parfaitement tranché, et que dans une atmosphère favorable elle paraît tout aussi noire que l'espace obscur qui sépare l'anneau du corps de la planète. » — Le 25 avril 1837, Encke vit, au moyen de la grande lunette de l'observatoire de Berlin, que l'anneau extérieur était partagé en deux par une étroite bande noire, ce qu'avait dès 1823 soupçonné Quetelet, directeur de l'observatoire de Bruxelles. Enfin le 29 mai 1838, le P. Vico aperçut à Rome, avec une grande lunette sortie des ateliers de Cauchoix, outre la bande d'Encke, deux bandes noires semblables sur l'anneau intérieur, ce qui ferait un total de cinq anneaux, séparés par quatre intervalles obscurs. Ces observations furent en partie confirmées, en 1843 et en 1850, par MM. Lassell et Dawes.

L'anneau, considéré dans son ensemble, fait avec le

1. *Philosophical Transactions,* I, p. 247.
2. *Mém. de l'Acad. des sciences,* t. X, p. 583.

plan de l'orbite de la planète un angle dont la valeur est actuellement de 28 degrés. Conséquemment, à un observateur situé sur la Terre, il paraîtra toujours elliptique et d'une dimension transversale variable ; il devient invisible quand son plan prolongé passe par la Terre et que l'angle qu'il sous-tend est trop petit pour frapper nos yeux. Du côté où l'anneau se projette sur la planète, on aperçoit une ombre à la surface de celle-ci ; cette ombre indique évidemment la région où la matière solide de l'anneau, interposée comme un écran, empêche les rayons du Soleil de pénétrer. Du côté opposé à la région ombrée, on voit au contraire la planète projeter sur l'anneau une ombre très-distincte. Ces particularités, très-bien observées par Herschel, montrent que le corps de Saturne et son anneau ne brillent que de la lumière réfléchie du Soleil. Le même astronome a constaté, en 1790, par des observations très-délicates, que l'anneau ou les anneaux (dont la largeur totale est de 11 918 lieues et l'épaisseur de 100 lieues à peine) tournent sur leur centre commun (qui ne coïncide pas avec le centre de la planète) en $10^h\ 32^m\ 15^s$.

Le fait d'une rotation de l'anneau fut contesté par Schroeter et Harding, s'appuyant sur les observations plus anciennes de Maraldi et de Herschel lui-même, relatives à la variation des intensités lumineuses des anneaux. Mais Laplace parvint à concilier entre elles des observations en apparence contradictoires en établissant, par les lois de la gravitation universelle, que les centres de gravité des anneaux peuvent être considérés comme autant de satellites qui se meuvent autour du centre de Saturne, à des distances dépendantes des inégalités des anneaux, et avec des vitesses angulaires égales aux vitesses de rotation de leurs anneaux respectifs. « On conçoit, ajoute-t-il, que ces anneaux, sollicités par leur action mutuelle, par celle du Soleil et des satellites de Saturne, doivent osciller autour du centre de la planète, et produire ainsi des phénomènes de lumière dont la période embrasse plusieurs années. »

Jacques Cassini avait le premier considéré l'anneau de Saturne comme l'agglomération d'une multitude de satellites dont les étoiles se toucheraient presque, de manière à former, à la distance d'où nous les regardons, l'apparence d'un corps lumineux continu. Quant à l'origine de l'anneau, Maupertuis le croyait produit par la queue d'une comète que Saturne aurait forcée à circuler autour de lui. Buffon, d'accord avec Mairan, prétendait que l'anneau faisait primitivement partie du corps de la planète et qu'il en fut détaché par la force centrifuge. Enfin, d'après des observations récentes de MM. Bond, Hind, Lassell et d'autres, l'anneau de Saturne est le théâtre de révolutions matérielles continues, qu'il serait difficile d'expliquer.

Cassini en 1683, Messier en 1762, 1766 et 1776, et Herschel en 1792, ont vu Saturne entouré de zones ou bandes, mais moins régulièrement que Jupiter. Ces bandes, difficiles à observer, semblent indiquer l'existence d'une atmosphère. Elles servirent à Herschel pour démontrer, en 1794, le mouvement de rotation de Saturne, entrevu par D. Cassini et Huygens.

Il résulte des travaux de Laplace, de Delambre, de Bessel, d'O. Struve, de Schwabe, d'Olbers, etc., que Saturne tourne sur son axe en 10 h. 24 m. qu'il accomplit sa révolution sidérale en 29 ans 5 mois et 16 jours, que sa distance moyenne du Soleil est de 9,539 (la distance moyenne du Soleil à la Terre étant 1), etc. Les observations concernant l'aplatissement de Saturne ont donné des résultats très-divergents, qui varient entre $\frac{1}{9}$ et $\frac{1}{23}$. La forme de cette singulière planète, dont le disque ressemble plutôt à un rectangle qu'à une ellipse, est, depuis Herschel, encore un objet de discussions et de recherches.

Nous avons parlé plus haut de la découverte des satellites de Saturne[1]. Nous ajouterons que le 6e et le 7e satellite ont des volumes relativement énormes, supérieurs

1. Voyez p. 445 et suiv.

aux volumes des satellites de Jupiter. Le 7e, qui s'écarte le plus de sa planète centrale, a une distance décuple de celle de la Lune à la Terre. Les deux satellites les plus voisins de leur planète, que W. Herschel découvrit en 1787, au moyen de son télescope de 40 pieds, furent plus tard, à cause de leur extrême petitesse, revus à grand'-peine par John Herschel au cap de Bonne-Espérance, par Vico à Rome et par Lamont à Munich.

Planètes nouvelles (externes).

Uranus.—Depuis des milliers d'années, Saturne passait pour la dernière des planètes, c'est-à-dire pour occupant les limites extrêmes de notre monde, lorsque Herschel, véritable Christophe Colomb du ciel, vint reculer ces limites. Le 13 mars 1781, entre dix et onze heures du soir, l'astronome de Slough examinait avec un télescope de $2^m,19$ de long, grossissant 227 fois, un groupe de petites étoiles situées dans la constellation des Gémeaux, lorsqu'une de ces étoiles parut lui offrir des dimensions inusitées. En reprenant ses observations le lendemain, il vit que cette singulière étoile s'était déplacée[1]; enfin, quoiqu'elle n'offrît aucun aspect chevelu, il n'hésita pas à la qualifier de *comète*. C'est sous ce titre (*Account of a comet*) que la nouvelle planète fut d'abord annoncée et décrite dans les *Philosophical Transactions*, année 1781. C'est ainsi que Christophe Colomb, en découvrant l'Amérique, s'imaginait n'avoir trouvé que la côte orientale de l'Asie, tant était puissant le prestige d'antiques croyances sur les limites du monde !

1. Si, au lieu du 13 mars, Herschel eût observé cet astre le 2, il ne se serait pas aperçu de son déplacement; car la planète était alors dans une de ses stations, et sa découverte aurait pu être indéfiniment reculée.

Les astronomes se mirent aussitôt à l'œuvre pour déterminer la courbe le long de laquelle la *comète* d'Herschel devait se mouvoir; et comme ils ne croyaient nullement avoir affaire à une planète, ils renfermèrent leurs calculs dans les conditions d'une parabole ou d'une ellipse très-allongée. Voyant que, dans les catalogues des paraboles cométaires, aucune distance périhélie n'est supérieure à 4 fois et demie la distance moyenne de la Terre au Soleil, ils voulaient aussi que le sommet de la prétendue comète ne fût pas très-éloigné du Soleil. Partant de ces suppositions erronées, ils ne devaient arriver dans leurs calculs à aucun résultat satisfaisant. Tous étaient ainsi à se morfondre, lorsque l'un d'eux, simple astronome amateur, le président de Saron[1], déclara qu'on s'efforcerait vainement de tracer la courbe du nouvel astre, tant qu'on ne supposerait pas la distance périhélie égale à 14 fois au moins la distance moyenne de la Terre au Soleil. Cette hardie déclaration enleva l'astre à la classe des comètes; c'était un premier pas de fait. Les calculateurs se remirent à l'œuvre, et, abandonnant cette fois l'idée d'un mouvement parabolique, ils reconnurent qu'une orbite elliptique, presque circulaire, d'un rayon égal à 19 fois environ la distance de la Terre au Soleil, satisferait assez bien aux conditions de déplacement angulaire, aux mesures micrométriques, que l'observation leur avait fournies. Ce second et dernier pas, Lexell et Laplace le firent presque en même temps. Herschel n'avait pris aucune part à ces débats d'astronomie mathématique; mais lorsqu'il apprit que sa comète était une grosse planète, située aux confins de

1. Bochart de *Saron* (né à Paris en 1730, guillotiné le 20 avril 1794) consacra sa fortune et les loisirs de ses fonctions de premier président du Parlement de Paris aux progrès de l'astronomie. Il possédait un cabinet riche en instruments de précision qu'il mettait généreusement à la disposition des savants. Membre de l'Académie des sciences depuis 1779, il fit imprimer à ses frais l'ouvrage de Laplace : *Théorie du mouvement elliptique et de la figure de la Terre*, 1784.

notre système du monde, il réclama le droit de lui donner un nom : il l'appela *Georgium Sidus*, en honneur de son roi. Lexell proposa de la nommer le *Neptune de Georges III*, Lalande *planète Herschel*, Lichtenberg *Astrée ;* enfin le nom du plus ancien des dieux, le nom d'*Uranus*, que lui donna Bode, a prévalu.

Herschel fit de sa planète, qu'il continuait d'appeler *Georgian Planet*, un objet d'observations assidues et multipliées ; il en traça presque toute l'histoire [1]. Au moyen du micromètre à lampe de son invention, il détermina le diamètre apparent (3″,9) d'Uranus, qui, avec un volume de 82 fois environ celui de la Terre, se présente comme une étoile de sixième grandeur, quelquefois visible à l'œil nu. Lemonnier, Messier, Lamont, Bode, Cesaris, Wargentin, d'une part, Laplace, le président de Saron, Méchain, Boscowich, Lexell, Bouvard, de l'autre, rivalisèrent de zèle avec Herschel, et de leurs travaux furent déduits les éléments d'Uranus : sa distance moyenne au Soleil, égale à 730 millions de lieues ou 19 $\frac{1}{5}$ fois celle de la Terre au Soleil, l'inclinaison de son orbite sur l'écliptique, égale à 46′ 28″, le temps de sa révolution sidérale, égal à environ 84 de nos années, etc. L'aplatissement, signalé par Herschel, et estimé par Maedler à $\frac{1}{10}$, n'a pas été admis par O. Struve. Si cet aplatissement est sensible, la vitesse de rotation de la planète ne sera guère douteuse. Suivant Bouvard, la masse d'Uranus est de $\frac{1}{17918}$, et suivant Lamont, $\frac{1}{24605}$, celle du Soleil étant 1.

Si, au rapport d'Arago, Lemonnier avait mieux tenu ses registres, un simple coup d'œil lui aurait fait voir, en janvier 1769, qu'il observait un astre mobile, et le nom de cet astronome, au lieu de celui de Herschel, se serait trouvé attaché à l'une des plus grandes découvertes astronomiques. De 1763 à 1769 Lemonnier avait observé trois fois la prétendue comète de Herschel. Bradley avait noté le même as-

1. Voyez *Philosophical Transactions*, année 1782 et suivantes.

tre, dans son grand catalogue, à la date du 3 décembre 1753, ainsi que le fit remarquer Bessel, de même qu'il avait été reconnu par Bode que l'astre en question se trouvait inscrit, à la date du 13 décembre (vieux style) de 1690, parmi les étoiles zodiacales de l'Histoire céleste de Flamsteed. Bode avait encore reconnu, en parcourant les catalogues d'étoiles zodiacales, que Tobie Mayer observa, en 1756, dans la constellation des Poissons, une étoile de sixième grandeur, dont on ne retrouvait aucun vestige en 1781.

W. Herschel découvrit aussi qu'Uranus a des *satellites*. Très-difficiles à observer, ces petits astres furent portés par lui au nombre de six. Le 3e et le 4e (suivant l'ordre de leur distance à leur planète centrale) furent découverts le même jour (11 janvier 1787). La durée de leurs révolutions est de 8^j, 986 pour le 3e satellite, et de 13^j, 846 pour le 4e; la distance moyenne du premier est 17,37, et celle du second, 23,18. Herschel continua ses recherches, et dans un mémoire, daté du 14 décembre 1797 (78e volume des *Philosophical Transactions*), il signala l'existence de quatre nouveaux satellites. Mais les difficultés des observations étaient telles, qu'il laissa lui-même planer beaucoup d'incertitude sur les résultats obtenus. Comme plusieurs astronomes conservaient, avec raison, des doutes sur l'existence réelle des quatre derniers satellites, Herschel y revint dans un dernier mémoire, publié le 8 juin 1815. Aux arguments déjà présentés, il en ajouta de nouveaux ; mais il est facile de voir qu'il tenait à se renfermer ici dans les limites des simples probabilités. Son fils, John Herschel[1], malgré des observations faites, pendant les années 1828,

1. John *Herschel*, fils unique de William Herschel, naquit à Slough près de Windsor en 1792, acheva le *Catalogue des nébuleuses* commencé par son père, explora au Cap (de 1834 à 1838) le Ciel austral et fut élu, en 1848, président de la société Royale de Londres. Ses *Outlines of astronomy* (Lond., 1849, in-8°) figurent parmi les meilleurs traités d'astronomie.

1830, 1831, 1832 et 1834, ne parvint jamais a voir, avec ses télescopes perfectionnés, que les deux satellites de 1787.

A la fin de l'année 1851 (24, 28, 30 octobre et 2 novembre), M. Lassell découvrit deux nouveaux satellites d'Uranus, situés plus près encore de la planète que le premier satellite de W. Herschel. Il trouva pour la distance moyenne 7,44, et pour la durée de la révolution $2^{j},520$ du premier, de tous le plus voisin de la planète, et pour les mêmes éléments du second, 10,37 et $4^{j},144$. Tout cela porterait à huit le nombre des satellites d'Uranus. Mais de ces *huit* satellites il n'y en a réellement que *quatre* dont l'existence soit réellement mise hors de doute.

Les satellites d'Uranus présentent une anomalie étrange : c'est que leurs mouvements propres s'exécutent en sens contraire des mouvements propres de toutes les planètes et de leurs satellites.

Parmi les astronomes qui se sont le plus occupés de la théorie d'Uranus, particulièrement des perturbations de cette planète, nous devons citer Delambre, Laplace, Conti, Schubert et Bouvard. Ce dernier fit paraître, en 1821, les *Tables astronomiques d'Uranus*, contenant les Tables de Jupiter et de Saturne. Ces Tables, comprenant toutes les observations faites depuis 1781, signalèrent un sensible désaccord entre les observations anciennes et les observations modernes, et leur auteur était fort embarrassé pour décider s'il fallait mettre ce désaccord sur le compte de l'inexactitude des observations anciennes, ou s'il fallait le faire dépendre de *quelque action étrangère et inaperçue qui aurait influencé la marche de la planète*.

Hansen écrivit, en juin 1829, à Bouvard que « pour expliquer les différences qui existaient entre les observations de chaque jour et les Tables d'Uranus, il fallait recourir aux perturbations de deux planètes inconnues. » Airy en 1838, et Bessel en 1840, reconnurent que la différence entre les observations anciennes et les modernes

était déjà d'une minute entière et qu'elle s'accroissait de 7 à 8 secondes par an. « J'ai l'idée, dit Bessel dans une lettre adressée (le 8 mai 1840) à A. de Humboldt, qu'un moment viendra où la solution du problème sera peut-être fournie par une nouvelle planète dont les éléments seraient reconnus d'après son action sur Uranus et vérifiées d'après l'action qu'elle exercerait sur Saturne[1]. »

Dès 1821, depuis la publication des Tables de Bouvard, les astronomes avaient donc sérieusement posé la question de savoir si, pour expliquer les anomalies observées, il y avait lieu de chercher au delà d'Uranus une planète perturbatrice. Mais Olbers, se fondant sur l'hypothèse de Laplace relativement à la formation de notre système planétaire, déclara qu'Uranus occupait positivement les confins de notre monde, et qu'il n'y avait plus aucune planèteà chercher au delà[2].

M. Adams, en Angleterre, s'occupait de la solution du problème proposé par Bessel, lorsque M. Le Verrier fit paraître le travail qui trancha la question.

NEPTUNE. — Le mémorable travail que M. Le Verrier[3] présenta, le 31 août 1846, à l'Académie des sciences, a pour titre : *Sur la planète qui produit les anomalies observées dans le mouvement d'Uranus ; détermination de sa masse, de son orbite et de sa position actuelle*. Peu de temps

1. Arago, *Astronomie populaire*, t. IV, p. 513.

2. Jahn, *Histoire de l'astronomie au dix-neuvième siècle* (en allemand), p. 66 (Leipzig, 1844).

3. M. *Le Verrier* (Urbain-Jean-Joseph), né à Saint-Lô le 11 mars 1811, sortit au premier rang de l'École polytechnique et se fit, dès 1836, connaître par un travail de chimie (*Sur les combinaisons du phosphore avec l'hydrogène*). Professeur de mécanique céleste à la Sorbonne, il entra, en 1849, à l'Assemblée législative, fut sénateur sous l'Empire et succéda en 1854 à Arago dans la direction de l'Observatoire. Après la chute de l'Empire, il perdit cette place, et y rentra en 1872 (après la mort de M. Delaunay), par un décret de M. Thiers, président de la République française.

après la publication de ce mémoire, Arago donna à l'Académie lecture d'une lettre, en date du 25 septembre 1846, adressée à M. Le Verrier. « La planète, y disait l'astronome de Berlin, dont vous avez signalé la position, existe réellement. Le jour même où j'ai reçu votre lettre, je trouvai une étoile de huitième grandeur, qui n'était pas inscrite dans l'excellente carte *Hora* XXI (dessinée par M. Bremiker) de la collection de cartes célestes, publiée par l'Académie de Berlin. L'observation du jour suivant décida que c'était la planète cherchée. » Puis Arago ajoutait : « Les astronomes ont quelquefois trouvé, accidentellement, un point mobile, une planète, dans le champ de leurs télescopes, tandis que M. Le Verrier aperçut le nouvel astre sans avoir besoin de jeter un seul regard vers le ciel : il le vit *au bout de sa plume.* Il avait déterminé, par la seule puissance du calcul, la place et la grandeur d'un corps situé bien au delà des limites jusqu'ici connues de notre système planétaire, d'un corps dont la distance au Soleil surpasse 1200 millions de lieues et qui dans nos plus puissantes lunettes offre à peine un disque sensible. »

Au mois d'août 1847, M. Lassel, le même astronome anglais qui avait découvert les deux satellites d'Uranus les plus rapprochés de leur planète, découvrit, à Starfield près de Liverpool, en observant Neptune, un satellite qui fut également observé par O. Struve à Poulkova, en septembre de la même année. Ce dernier trouva que ce satellite accomplit sa révolution en $5^j 21^h$, et que sa distance au centre de la planète est d'environ 100 000 lieues.

Les recherches qu'on a faites depuis pour savoir si la planète Neptune n'avait pas été déjà anciennement[1]

1. Suivant les recherches faites par MM. Peterson, Walker et Mauvais dans l'*Histoire céleste* de Lalande, Neptune avait été observé comme une étoile de 8e grandeur le 6 et le 8 mai 1795. On a encore cité les observations de Wartmann et de Cacciatore, faites en 1831 et

aperçue, ne peuvent diminuer en rien le mérite de la brillante découverte de M. Le Verrier.

Petites planètes circulant entre Mars et Jupiter.

Guidé par son génie, Kepler avait remarqué dans le groupement des planètes une lacune, un véritable *hiatus*, entre Mars et Jupiter. Pour le combler, il y plaça une planète — à découvrir. Cette hypothèse fut mal accueillie, parce qu'elle contrariait les idées régnantes, et bientôt oubliée.

Le professeur Titius, de Wittemberg, avait donné, dans sa traduction allemande de la *Contemplation de la Nature* de Charles Bonnet[1], une série particulière de nombres pour montrer que les distances des planètes au Soleil sont soumises à une loi, dont l'invention a été à tort attribuée à l'astronome Bode, de Berlin. Cette série est représentée par la progression géométrique de 0, 1, 2, 4, 8, etc., chacun de ces termes étant, à partir de zéro, multiplié par 3 et le produit augmenté de 4, de manière à obtenir :

$$
\begin{aligned}
4 &= 0 \times 3 + 4\\
7 &= 1 \times 3 + 4\\
10 &= 2 \times 3 + 4\\
16 &= 4 \times 3 + 4\\
28 &= 8 \times 3 + 4\\
52 &= 16 \times 3 + 4\\
100 &= 32 \times 3 + 4\\
196 &= 64 \times 3 + 4\\
388 &= 128 \times 3 + 4
\end{aligned}
$$

Les nombres 4 7 10 16 28 52 100 représentent assez bien les distances moyennes de Mercure (0,387), de Vé-

1835 à Genève et à Palerme. Mais, tout examen fait, elles ne sauraient aucunement s'appliquer à la planète Neptune.

1. *Betrachtung über die Natur*, p. 7 (Leipzig, 1772, in-8°).

nus (0,723), de la Terre (1,000), de Mars (1,523), de Jupiter (5,202), de Saturne (9,538) au Soleil[1]. Quant aux deux derniers termes, applicables à des planètes qui étaient encore à découvrir quand parut le livre de Titius, il est à remarquer que la distance moyenne d'Uranus (19,182) se rapproche encore assez de 196. Mais la distance moyenne de Neptune (30,036) s'éloigne très-notablement de 388.

Persuadés de l'existence d'une planète intermédiaire entre Mars et Jupiter, vingt-quatre astronomes allemands s'associèrent sous la présidence de Schroeter, directeur de l'observatoire de Lilienthal, près de Brême, pour se mettre à sa recherche. Lalande s'intéressa lui-même vivement à cette association. Mais elle n'amena aucun résultat. La planète, dont le baron Zach (directeur de l'observatoire de Seeberg, près de Gotha, mort en 1832 à Paris) avait vainement essayé de calculer les éléments, se présenta un jour d'elle-même au bout de la lunette d'un astronome qui ne la cherchait point.

CÉRÈS.—Personne ne pensait plus au *hiatus* de Kepler, ni à la loi de *Titius-Bode*, quand Piazzi découvrit, dans la nuit du 1er janvier 1800, une nouvelle planète, qu'il appela *Cérès*, nom de l'ancienne déesse de la Sicile[2]. Il allait, pour l'achèvement de son catalogue, observer l'étoile 87 de la constellation du Taureau, quand il aper-

1. *Bode*, directeur de l'Observatoire de Berlin (né en 1747, mort en 1826), auteur du *Grand Atlas céleste*, et de la *Connaissance du ciel étoilé*, dont la 8e édition parut en 1823, fut tellement émerveillé de cette coïncidence qu'il présenta la loi de Titius comme une véritable révélation. Il insista sur la nécessité d'explorer l'espace compris entre Mars et Jupiter, pour trouver la planète correspondant au terme 28 de la fameuse série à laquelle il finit par attacher son nom.

2. *Piazzi* (né en 1746 à Ponte, dans la Valteline, mort en 1826 à Naples) entra dans l'ordre des Théatins, enseigna la philosophie à Gênes, les mathématiques à Malte et la théologie à Rome. Protégé par Pie VII, il fit construire un observatoire à Palerme, dont il eut la

çut, dans le voisinage, par 5°47′ d'ascension droite et 16°8′ de déclinaison boréale, une étoile de huitième grandeur, qu'il n'avait pas encore remarquée. En la voyant se déplacer les jours suivants, il la prit pour une comète, et en informa Lalande à Paris, Bode à Berlin et Oriani à Milan. On voit que la découverte qui, suivie d'autres découvertes du même genre, devait combler, entre Mars et Jupiter, la lacune signalée par Kepler, ne fut le résultat d'aucune recherche délibérée; elle était uniquement due à cette cause inconnue, qu'on nomme le *hasard*.

Piazzi continua d'observer sa prétendue comète jusqu'au 11 février suivant, où il tomba malade; quand, vers la fin du même mois, il fut rétabli, l'astre n'était plus visible, s'étant perdu dans les rayons du Soleil, et l'arc observé était trop petit pour décider sûrement, d'après les méthodes jusqu'alors employées, s'il parcourait une ellipse ou une parabole. Les astronomes étaient fort embarrassés, lorsqu'un jeune homme, depuis devenu célèbre comme mathématicien, Gauss, soumit les observations de Piazzi au calcul, et parvint, à l'aide d'une méthode de son invention, à tracer la courbe que l'astre fugitif devait parcourir; il en annonça la réapparition pour la fin de l'année, et indiqua même le lieu précis où il serait alors visible. Les astronomes en renom firent peu attention à cette annonce d'un homme nouveau dans la carrière scientifique. Le baron de Zach lui-même paraît avoir été incrédule; car ce ne fut pour ainsi dire que par acquit de conscience que, à la fin de décembre et au commencement de janvier 1802, il dirigea sa lunette vers la région du ciel indiquée; il aperçut la petite planète, mais comme il n'y

direction, et se voua dès lors tout entier à l'astronomie. Son *Catalogue des étoiles*, augmenté en 1818, et ses *Leçons d'astronomie* (Palerme, 1817, 2 vol. in-8°) popularisèrent son nom.

croyait pas, il en laissa échapper la découverte[1]. Mieux avisé que le directeur de l'observatoire de Seebach, un amateur astronome, le docteur Olbers, de Brême, s'était fait construire, sur les indications de Gauss, une petite carte sur laquelle il avait marqué, le 1er janvier 1802, toutes les étoiles de la région où devait réapparaître l'astre de Piazzi. Le lendemain 2 janvier, il remarqua que l'une de ces étoiles s'était déplacée, et il continua à l'observer jusqu'au 6 janvier, où il reconnut qu'elle avait exactement suivi la route théoriquement tracée. Le triomphe de Gauss fut complet : l'astre en question était une planète; on en avait désormais tous les éléments. En même temps on constata, non sans quelque surprise, que la lacune de la série de Titius était comblée par cette découverte : la distance moyenne de la nouvelle planète au Soleil, 2,767, était très-bien rendue, en nombres ronds, par 28.

Cérès fut depuis observée par Schroeter, Méchain, Maskelyne, Bode, Herschel, Santini, Encke, etc. Il résulte de leurs observations que Cérès tourne autour du Soleil en 1680j,75, que son orbite est inclinée de 10° 36′ 28″ sur le plan de l'écliptique, que sa distance moyenne au Soleil est de 2,767, celle de la Terre étant 1, etc. Schroeter, qui a évalué le diamètre réel de la petite planète à 185 lieues, la croit entourée d'une atmosphère épaisse et très-étendue.

Pallas. — C'est également le hasard qui présida à la découverte de la seconde petite planète. Dans la soirée du 28 mars 1802, Olbers[1] observait la planète de Piazzi. Sa

1. C'est Zach lui-même qui a raconté sa mésaventure dans *Monatliche Correspondenz*, t. V, p. 90.

2. Henri-Guillaume *Olbers* (né à Arbergen près de Brême en 1758, mort en 1840), fils d'un pasteur protestant, étudia la médecine à Gœttingue, puis il abandonna cette carrière pour se livrer exclusivement

lunette venant à se diriger sur l'aile septentrionale de la Vierge, il aperçut une étoile de septième grandeur, qui formait avec les nos 20 et 191 de la carte céleste de Bode un triangle équilatéral. Cette étoile n'y était pas marquée. Le lendemain il la trouva changée de place; plus de doute : c'était une planète. Il en avertit aussitôt le baron de Zach; d'autres observateurs aperçurent l'astre nouveau, qui reçut le nom de *Pallas*, et Gauss, devenu directeur de l'observatoire de Gœttingue, en détermina les éléments. La distance moyenne de cette petite planète au Soleil est de 2,770, et la durée de sa révolution sidérale de 1683j,52. Schroeter a trouvé, pour le diamètre réel de Pallas, 765 lieues, et Herschel seulement 45 lieues; cette énorme différence paraît être due à la nébulosité dont la petite planète est entourée.

Mais que devenait ici la loi de Titius-Bode? Entre Mars et Jupiter il ne manquait plus de terme : la place était déjà prise par Cérès. On se mit dès lors à penser que Pallas pourrait bien n'être qu'une comète; l'inclinaison de son orbite, son excentricité et surtout la nébulosité dont on la voyait enveloppée, pouvaient, en effet, autoriser une pareille opinion. Mais il fallut y renoncer après la découverte d'autres planétules semblables, situées dans la même région du zodiaque.

Junon. — Les découvertes inattendues de Cérès et de Pallas portèrent les astronomes à réviser les catalogues d'étoiles et les cartes célestes. Harding[1] était du nombre

à l'astronomie. Ses travaux sur les comètes font autorité dans la science.

1. Charles-Louis *Harding* (né à Lauenbourg en 1765, mort à Gœttingue en 1834), fils d'un pasteur protestant, apprit les sciences physiques sous Lichtenberg et se livra tout entier, depuis sa découverte de *Junon*, à l'astronomie qu'il enseignait à l'université de Gœttingue. Il est auteur de l'*Atlas novus cœlestis*, en vingt-quatre planches (Gœttingue, 1822), et d'un grand nombre de notices dans les *Annonces savantes* de Gœttingue, dans la *Correspondance mensuelle* de Zach, etc.

de ces réviseurs zélés. Il ne tarda pas à être récompensé de sa peine. Le 1er septembre 1804, à 10 heures du soir, il vit dans la constellation des Poissons une étoile de huitième grandeur, qui n'était pas notée dans l'*Histoire céleste* de Lalande. Le 4 septembre suivant il la trouva très-sensiblement changée de place : c'était une nouvelle planète. Elle reçut le nom de *Junon*. Gauss en calcula les éléments. La distance moyenne de cette planétule au Soleil est de 2,669, sa révolution sidérale de 1592j,30, etc. Junon paraît être entourée d'une atmosphère très-dense, et elle présente, suivant Schroeter, de très-fortes variations d'intensité de lumière, ce qui ferait supposer qu'elle n'est pas ronde[1]. D'après Maedler, son diamètre réel est de 146 lieues : ce ne serait donc qu'un éclat de planète.

Vesta. — Si la découverte de Cérès, celle de Pallas et celle de Junon sont dues au hasard, il n'en est pas de même de celle qui va suivre. Comme ces petites planètes sont toutes situées entre Mars et Jupiter, Olbers, reprenant l'idée de Kepler, émit l'hypothèse qu'elles ne sont que les fragments d'une grosse planète, détruite par quelque force naturelle. Cette hypothèse semblait être corroborée par les calculs de Gauss, montrant que Cérès, lors de son passage ascendant à travers l'orbite de Pallas, arrive très-près de cette planète, et que Junon passerait ultérieurement sur les points d'intersection des orbites de Cérès et de Pallas. Olbers alla plus loin : il supposa que d'autres fragments de planète semblables devaient exister dans la même région de l'espace, et passer par les mêmes points d'intersection, pendant leurs révolutions autour du Soleil. Ces points se trouveraient dans la Vierge et dans la Baleine. Olbers se mit donc à explorer attentivement ces constellations, et le 29 mars 1807, vers

1. Schroeter, *Beobachtungen der drei neu-entdekten Planeten, Ceres, Pallas, Juno;* Goettingne, 1805.

huit heures du soir, il aperçut, dans la Vierge, une étoile de 6e grandeur, qui changeait de place : c'était la planète qui reçut le nom de *Vesta*. Olbers continua à l'observer jusqu'au 20 avril, et envoya le même jour le résultat de ses observations à Gauss, à Gœttingue. Celui-ci lui renvoya le lendemain la détermination des éléments de la nouvelle planète.

Par un ciel parfaitement serein, Vesta est visible à l'œil nu. D'après Maedler, son diamètre réel est de 122 lieues.

A l'occasion de la découverte de Vesta, M. de Littrow rappela ces paroles d'un ancien poëte : οὐ τύχης, οὐκ ἀρετῆς, ἀλλ' ἀρετῆς εὐτυχομένης, *elle ne fut point l'effet du hasard, ni du génie, mais du génie favorisé par le hasard.* Ce même astronome avait dit, après la découverte de Vesta, qu'il « existe probablement entre Mars et Jupiter beaucoup d'autres de ces petites planètes qui sont restées jusqu'à présent inaperçues et qui peut-être le seront encore longtemps au milieu de la quantité d'étoiles qui peuplent ce vaste intervalle[1]. »

Astrée. — Trente-huit ans s'étaient écoulés depuis la découverte de Vesta, lorsque M. Heneke (qu'il ne faut pas confondre avec l'astronome Encke), un simple amateur d'astronomie, directeur de poste à Driessen, découvrit, le 8 décembre 1845, la cinquième petite planète, qui reçut le nom d'*Astrée*. Moins de deux ans après, il en découvrit une autre, nommée *Hébé* (le 1er juillet 1847).

Depuis lors, chacun se mit à explorer les régions zo-

1. Jean-Joseph de *Littrow* (né à Bischof-Tenizen, en Bohême, en 1781, mort en 1840) fut depuis 1819 directeur de l'Observatoire de Vienne, qu'il réorganisa complétement. Il est auteur d'un mémoire *Sur les étoiles doubles*, des *Merveilles du Ciel* (en allemand), traité d'astronomie populaire très-estimé, et d'un *Traité d'astronomie théorique et pratique* (Vienne, 1821-1827, 3 vol. in-8°).

diacales, et à noter les étoiles qui manquaient sur les cartes célestes, ou qui n'y occupaient plus les mêmes places. Et c'est ainsi que l'on a, depuis lors, découvert presque tous les ans un certain nombre de ces petites planètes, qu'Herschel proposait de nommer *Astéroïdes*. Aujourd'hui (en septembre 1873) on en compte déjà 133, et leur nombre paraît loin d'être épuisé. Les astronomes ne les désignent plus que par des chiffres indiquant l'ordre chronologique de leur découverte, à commencer par Cérès, Pallas, Junon, Vesta, Astrée, etc., ainsi numérotées : (1) (2) (3) (4) (5), etc.

Toutes ces planètes télescopiques, réputées les débris d'une grosse planète, sont situées entre Mars et Jupiter. Leur découverte ne recule donc point, comme la découverte de Neptune, les limites de notre monde.

Parmi les observateurs qui en ont découvert le plus grand nombre, nous nous contenterons de citer Hind, de Gasparis, Luther, Goldschmidt, Chacornac, Peters, Watson, Ferguson, Pogson, Borelly, Graham. Tous ces noms sont ceux d'astronomes de profession, à l'exception de celui de Goldschmidt[1].

1. Hermann *Goldschmidt* (né à Francfort-sur-le-Mein en 1802, mort à Fontainebleau en 1866) était peintre de sa profession. Plusieurs de ses tableaux ont figuré aux Expositions publiques. Il vivait depuis quelque temps à Paris, lorsqu'un jour le hasard le conduisit au cours d'astronomie que M. Le Verrier faisait à la Sorbonne : le professeur expliquait une éclipse de Lune qui devait avoir lieu le même soir (le 31 mars 1847). Cette leçon l'intéressa vivement. « Dès ce moment, nous a-t-il raconté lui-même, je me mis à étudier avec passion une science dont je ne possédais encore que de très-vagues notions. J'avais lorgné chez un marchand de bric-à-brac une petite lunette; je passais souvent devant sa boutique. Un jour, vers la fin de 1849, je me décidai à acheter l'instrument qui me faisait envie. Ce fut le plus beau jour de ma vie. » Trois ans après, le 15 novembre 1852, Goldschmidt découvrit, avec sa petite lunette, une première planète, qui reçut d'Arago le nom de *Lutetia* (21); le 26 octobre 1854, il découvrit *Pomone* (32); puis successivement *Atalante* (36) le 5 octobre 1855; *Harmonia* (40) le 31 mars 1856; *Daphné* (41) le 22 mai 1856;

A l'exemple des paléontologistes, qui reconstituent, avec des fragments de squelettes, des animaux entiers d'espèces antédiluviennes, M. Daniel Kirkwood tenta, d'après une communication présentée, dès 1850, à l'Association britannique pour l'avancement des sciences, de reconstituer avec ces astéroïdes jusqu'alors connus (au nombre de 10), la planète brisée, et il fut conduit à lui assigner un diamètre surpassant de beaucoup celui de Mars.

Existence douteuse des planètes intramercurielles.

En s'occupant des Tables de Mercure, M. Le Verrier s'aperçut que l'orbite de cette planète éprouve un déplacement beaucoup plus grand qu'il ne devrait l'être d'après l'action calculée des forces connues. Pour expliquer cette anomalie, il eut recours à une hypothèse : il supposa

Nysa (44) le 27 juin 1857; *Eugenia* (45) le 11 juillet 1857; *Mélété* (48) le 9 septembre 1857; *Palès* (49) le 19 septembre 1857; *Doris* (50) le 29 septembre 1857; *Europa* (52) le 6 février 1858; *Alexandra* (54) le 10 septembre 1858; *Danaé* (61) le 19 septembre 1860; *Panopea* (70) le 5 mai 1861, lorsque la mort vint interrompre le cours de ses découvertes. Plus de dix mille étoiles avaient été pointées par Goldschmidt comme manquant sur les *Cartes célestes de l'Académie de Berlin*. Ces Cartes, auxquelles d'habiles astronomes travaillaient depuis plus d'un demi-siècle, ont pour base les zones de Bessel, continuées par Argelander, et cette base seule comprend 97 000 étoiles de 9e à 10e grandeur. Les étoiles, ainsi pointées par Goldschmidt, y manquaient-elles réellement? Quelques-unes d'entre elles s'étaient-elles déplacées? Voilà ce que l'astronome-peintre se demandait avec raison. Quoi qu'il en soit, ce fut parmi ces étoiles qu'il découvrit ses planètes. Puis, pour tout dire, c'était dans un humble atelier d'artiste, au sixième étage d'une vieille maison, dans une des rues les plus fréquentées (rue de l'Acienne-Comédie), c'était du haut du café Procope, où se donnaient jadis rendez-vous les astres de la littérature, c'était de là que Goldschmidt observait le ciel.

qu'il existe entre le Soleil et Mercure, soit un anneau d'astéroïdes, soit une ou plusieurs petites planètes, à découvrir. Ces masses troublantes devaient, si elles existaient, se montrer de temps à autre sous forme de points noirs sur le disque lumineux du Soleil. Diverses observations de ce genre avaient été faites vers le milieu et la fin du siècle dernier, sans qu'on eût rien pu en tirer de concluant. Enfin M. Le Verrier vint, le 2 janvier 1860, annoncer à l'Académie des sciences que M. Lescarbault, médecin à Orgères (Eure-et-Loir), explorant la surface du Soleil, avait observé, le 26 mars 1859, le passage d'un point noir, parfaitement rond, dont il estimait le diamètre au quart de celui de Mercure. On crut aussitôt à la découverte d'une nouvelle planète, qui reçut le nom de *Vulcain*. Au rapport de M. Lescarbault, la planète Vulcain devait se montrer assez fréquemment sur le disque solaire, à la fin de mars et au commencement d'octobre. Mais, malgré les plus actives recherches, aucun astronome n'a pu jusqu'à présent la retrouver[1].

Les Comètes.

Il y a des comètes qui font partie de notre monde; d'autres ne font que le traverser sous tous les angles possibles, sans qu'on sache ce qu'elles deviennent. Ces dernières sont les plus nombreuses. Depuis des siècles, les Chinois tiennent des catalogues ou listes de comètes. Mais en Europe ce n'est guère que depuis une cinquantaine d'années que les astronomes déterminent et enregistrent exactement les éléments de ces astres, afin que plus tard on puisse s'assurer si elles sont périodiques, ou si

1. M. Radeau, *Les derniers progrès de la science*, p. 15 et suiv. (Paris, 1868).

elles se perdent sans retour dans les profondeurs de l'espace.

Pingré (né à Paris en 1711, mort en 1790) entreprit le premier un recensement général de toutes les comètes observées depuis l'antiquité jusqu'en 1782, dans sa *Cométographie, ou Traité historique et théorique des Comètes* (Paris, 1783, 2 vol. in-4). Son exemple a été suivi, et aujourd'hui on trouve, enregistrées dans les catalogues, plus de 600 comètes d'une constatation suffisamment authentique. Si l'on tient compte des innombrables comètes télescopiques qui devaient échapper aux anciens, on ne sera peut-être pas éloigné de croire avec Kepler qu'il y a autant de comètes au ciel que de poissons dans l'océan.

Depuis que l'on a attribué le déluge à une comète, les gens du monde se sont beaucoup préoccupés de la rencontre probable d'un de ces astres chevelus avec la Terre. En examinant cette question, Olbers a trouvé que dans 88000 ans, l'une des comètes pourra venir aussi près de nous que la Lune, que dans quatre millions d'années une autre pourra se rapprocher jusqu'à 2566 lieues de notre globe, enfin que dans deux cent vingts millions d'années une troisième pourrait venir choquer la Terre [1]. Mais ces prédictions, empruntées au calcul des probabilités, n'ont rien d'inquiétant, non-seulement à cause de leur éloignement, mais à raison de l'extrême ténuité de la masse cométaire [2].

Un travail plus sérieux d'Olbers, c'est sa *Méthode nouvelle pour calculer les orbites des comètes*. La détermina-

1. *Correspondance mensuelle* de Zach, année 1810, et *Bibliothèque universelle de Genève*, mai 1828.

2. Voy. Arago, *Astronomie populaire*, t. II, p. 293 et suiv. — Un choc entre une comète et la Terre n'est pas impossible. Mais si la possibilité est incontestable, la probabilité est extrêmement petite : sur 281 millions de chances il n'y en a qu'une qui puisse amener une pareille rencontre.

tion d'une orbite cométaire, au moyen d'un certain nombre d'observations géocentriques, ce problème que Newton regardait déjà comme extrêmement difficile, *longe difficillimum*, avait été traité successivement par Lacaille, Euler, Lambert, Bouguer, Lagrange, Boscowich et Laplace. La méthode de Laplace exigeait beaucoup de calculs préparatoires, tellement fastidieux, que les calculateurs, à bout de patience, abandonnaient quelquefois leur travail, sans avoir obtenu aucun résultat satisfaisant. Ce fut en 1790 qu'Olbers annonça au baron de Zach qu'il était en possession d'une méthode infiniment supérieure à toutes celles qu'on avait employées jusqu'alors [1]. Cette méthode est une extension du principe que Lambert avait établi pour l'orbite cométaire, et qui consiste en ce que le rayon vecteur moyen divise la corde de l'orbite terrestre en proportion des temps écoulés entre les trois observations nécessaires pour calculer l'orbite d'une comète. Cette méthode sert à déterminer, en très-peu de temps, tous les éléments de l'astre avec une très-grande approximation; quelques interpolations donnent ensuite facilement une connaissance plus exacte des éléments [2].

Comètes périodiques.

Depuis la comète de Halley, dont nous avons parlé plus haut (p. 458), sept autres *Comètes périodiques* ont été découvertes. Les voici dans leur ordre chronologique. Après la *comète de Halley*, la première en date, viennent: 2° La *comète d'Encke*, découverte à Marseille, le 20 novembre 1818, par Pons. Elle porte le nom d'*Encke*, parce que cet astronome en établit le premier la périodicité: se

1. Mémoire publié dans *Gœttingische Anzeigen*, 21 janvier 1797; mémoire réédité, revu et augmenté par Encke; Berlin, 1847.
2. Voyez l'article *Olbers* de M. Radeau, dans la *Biographie générale*.

fondant sur d'anciennes observations, il montra qu'elle ne met qu'environ 1200 jours (un peu plus de trois ans) à parcourir son orbite elliptique. — 3° La *comète de Biela* ou de *Gambart*. Aperçue le 27 février 1826, à Johannisberg, par Biela, elle fut observée dix jours après à Marseille, par Gambart. Celui-ci montra que cette comète était identique avec celle qui avait paru en 1772 et 1805; il en calcula les éléments, et en établit la périodicité, en fixant la durée de sa révolution à 2417 jours (un peu plus de six ans et demi). Lors de son retour en 1846, elle a présenté un spectacle très-remarquable : elle s'est partagée en deux noyaux, l'un boréal, l'autre austral[1]. Lors de sa réapparition en 1852, on a remarqué que la durée de la révolution du noyau boréal est un peu plus courte que celle du noyau austral. Voulant en donner les éléments, il s'aperçut qu'une orbite parabolique ne pouvait lui convenir. Sa périodicité ayant été établie, M. Goldschmidt, de Gœttingue, en calcula les éléments elliptiques. — 4° La *comète de Faye*. Le 22 novembre 1843, M. Faye découvrit une nouvelle comète, dont il calcula d'abord les éléments paraboliques, puis les éléments elliptiques, après en avoir reconnu la périodicité. Cette comète, qui a été revue en 1851, 1858, 1865 et 1872, parcourt son orbite en 2718 jours (un peu plus de sept ans). — 5° La *comète d'Arrest*, découverte le 27 juin 1851 à Leipzig, a été l'objet d'importantes recherches de la part de M. Villarceau, qui en a fait le premier connaître la périodicité. La durée de sa révolution est d'environ six ans et demi. — 6° La *comète de Brorsen*, découverte par M. Brorsen, et calculée par Bruhns, a passé au périhélie le 17 avril 1868. La durée de sa révolution est de près de cinq ans et demi. — La *co-*

1. Démocrite et Éphore, dans l'antiquité, croyaient déjà qu'une comète pouvait se diviser. Mais cette opinion fut contestée par tous les astronomes jusqu'à l'époque du partage de la comète de Biela.

mète de Tuttle, découverte par M. Tuttle, et calculée par M. Tischler, a passé au périhélie le 30 novembre 1871. La durée de sa révolution est de près de quatorze ans (13 ans et un huitième). — La *comète de Winnecke*, découverte par M. Winnecke, et calculée par M. Oppolzer, a passé au périhélie le 29 décembre 1871. La durée de sa révolution est d'un peu plus de cinq ans et demi[1].

Toutes ces comètes, à l'exception de celle de Halley, ne peuvent être aperçues qu'au moyen du télescope. Il est extrêmement probable que leur nombre ira en augmentant.

Variabilité et nature des comètes.

Une comète peut-elle varier d'aspect? Ce point important paraît avoir été mis hors de doute par l'observation des changements qu'a présentés la comète périodique de Halley dans ses différentes apparitions. En 1456, sa grandeur extraordinaire (sa queue avait 60 degrés de longueur) répandit une terreur universelle. Le pape Calixte III particulièrement en fut si effrayé qu'il institua l'*Angelus*[2], et ordonna des prières publiques pour conjurer à la fois la comète et les Turcs qui, après la prise de Constantinople (en 1452), s'étaient implantés en Europe. En 1607, Longomontanus compara le noyau de la comète à la grosseur de Jupiter, avec une teinte obscure; la queue n'offrait rien de remarquable. En 1681, son noyau fut assimilé par Picard et Lahire à une étoile de deuxième grandeur; sa queue avait environ 30 degrés de longueur. En 1759,

1. Voir dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes* pour l'année 1873, p. 100, le *Tableau des éléments des comètes périodiques*, par Delaunay.

2. C'est ainsi que l'on rapporte à la comète de l'an 590 l'usage de dire à celui qui éternue : *Dieu vous bénisse*, parce que cette comète coïncidait avec l'apparition d'une effroyable épidémie, où les malades étaient, dit-on, atteints d'un éternument d'un pronostic fâcheux.

avant son passage au périhélie, son noyau ne put point être aperçu à l'œil nu ; sa queue était à peine visible. En 1835, la comète était visible à la simple vue, 47 jours avant son passage au périhélie ; sa queue avait (le 15 octobre) une étendue de 20 degrés. Dans l'intervalle de 1759 à 1835, la même comète paraissait donc avoir grandi.

Newton n'était pas éloigné d'admettre que « les exhalaisons, dont les queues des comètes se composent, peuvent tomber dans l'atmosphère de la Terre, s'y condenser et produire toutes sortes de réactions chimiques. » Suivant Arago et d'autres astronomes récents, ce phénomène est non-seulement possible, mais de nature à se reproduire assez fréquemment. C'est ainsi qu'on a essayé d'expliquer certains brouillards fétides, phosphorescents, par des queues de comètes ; mais, sans recourir à cette hypothèse, on peut, comme l'a montré Arago, en attribuer la cause à des émanations volcaniques ou à des pluies extrêmement fines d'aérolithes. Ce même astronome essaya aussi de rassurer les hommes sur les dangers qui pourraient résulter du passage de notre globe à travers la traînée vaporeuse d'une comète. Il s'attacha à combattre les idées de Gregory, de Sydenham, de Lubinietski et surtout de Forster qui, dans un ouvrage spécial (*Illustrations of the astronomical origin of epidemic diseases*, Chelmsford, 1829), avait voulu prouver « que depuis l'ère chrétienne les périodes les plus insalubres sont celles qui ont été marquées par l'apparition de quelque grande comète, que l'apparition de ces astres était en outre accompagnée de tremblements de terre, d'éruptions de volcans et de commotions atmosphériques. »

Mais l'apparition des comètes les plus remarquables par leur forme et par leur éclat n'a été accompagnée d'aucune des perturbations signalées par Forster. Parmi ces planètes nous citerons : la comète à queues multiples de 1744 (comète de Chéseaux), dont le noyau égalait, le 12 février, en éclat la plus brillante étoile du ciel, Sirius ; elle

était un moment visible en plein jour, comme la comète de 1843, dont la lumière fut comparée par Arago à la lumière zodiacale.

Nous y ajouterons les comètes de 1769, 1811 et 1858 (comète de Donati), si remarquables par leur éclat et la grandeur de leurs queues. W. Herschel aperçut dans la comète de 1811, qui coïncida avec une abondante récolte de vin d'une qualité fort recherchée, des filets lumineux qui semblaient éprouver des variations de longueur fréquentes et rapides; il en conclut que l'astre tournait sur lui-même. Un semblable mouvement de rotation paraît avoir été observé par Dunlop, directeur de l'observatoire de Sidney (Australie) dans la comète de 1825, dont la queue se composait de cinq branches distinctes, de longueurs inégales.

Si l'on ignore encore complétement la nature et la composition des comètes, on sait qu'il y a des comètes non-seulement sans queue, mais sans noyau; que le noyau, là où il existe, peut être ou diaphane, ou solide. Dans ce dernier cas, le noyau, en général d'un vif éclat, peut briller à la fois par sa lumière propre et par la lumière réfléchie du Soleil.

Coup d'œil rétrospectif sur notre système du monde.

Huit grosses planètes, y compris notre Terre, dix-huit satellites, y compris la Lune, huit comètes périodiques, cent vingt-huit planétules *intrajoviennes*, dont la découverte a commencé le 1er janvier 1800, et dont le nombre réel est encore inconnu, sans compter les anneaux d'astéroïdes ou les étoiles filantes, voilà jusqu'à présent l'état effectif des pièces constitutives de notre monde, globes qui circulent directement ou indirectement (comme

les satellites) autour du Soleil, en raison directe des masses et en raison inverse du carré des distances. C'est là-dessus que s'exerce l'astronomie calculatrice, qui s'enquiert particulièrement des masses et des distances pour représenter par des nombres les mouvements des astres, tels qu'ils apparaissent à nous, observateurs terrestres, placés sur une molécule astrale, perpétuellement mobile dans l'espace.

La loi de la gravitation universelle [1], dont Newton soupçonnait à peine l'universalité, même en ce qui concernait notre monde, a été corroborée et étendue par les travaux de d'Alembert, de Clairaut, d'Euler, et surtout par la *Mécanique céleste* de Laplace. Arrêtons-nous un moment sur ce dernier ouvrage.

Laplace (né en 1749, mort en 1827), dont nous donnerons la biographie dans l'*Histoire des mathématiques*, avait vingt-trois ans quand il présenta (en 1772) à l'Académie des sciences son Mémoire *Sur les inégalités séculaires des planètes*, où il démontra que, bien que les distances moyennes des planètes varient pendant un nombre de révolutions successives, la moyenne des moyennes est invariable. Ce fut le point de départ de son *Exposition du système du monde*, dont la 1re édition parut en 1796, avec une dédicace au Conseil des Cinq-Cents [2]. Depuis lors il publia un grand nombre de mémoires astronomiques, reproduits avec des développements dans son mémorable *Traité de la mécanique céleste* (Paris, 1799, in-4, réédité en 1829-1830). En 1842 parut, aux frais du gouvernement, une édition complète des *Œuvres* de Laplace (au-

1. Rappelons en passant que cette loi n'a pas été admise par tous les savants, et qu'elle a été combattue, entre autres, par H. d'Aguila, dans un livre intitulé : *Découverte de l'orbite de la Terre du point central de l'orbite du Soleil*; Paris, 1806, in-8°.

2. Cette dédicace, parue sous la première République, se termine par ces mots : « Le plus grand bienfait des sciences astronomiques est d'avoir dissipé les erreurs nées de l'ignorance de nos rapports avec la

jourd'hui épuisée), en 7 volumes in-4, dont les cinq premiers contiennent le *Traité de la mécanique céleste.*

Dans la première partie l'auteur expose les principes généraux de l'équilibre et du mouvement de la matière, pour arriver à démontrer que la gravitation universelle n'est qu'un cas particulier de la pesanteur. Des expressions générales du mouvement auquel tous les corps sont soumis, il déduit les principales inégalités des planètes, et particulièrement celles de Jupiter et de Saturne, dont la période embrasse plus de 900 ans, « et qui, n'offrant aux observateurs que des anomalies dont ils ignoraient les lois et la cause, ont paru longtemps faire exception à la théorie de la pesanteur ; plus approfondie, elle les a fait connaître, et maintenant ces inégalités en sont une des preuves les plus frappantes. » Développant ensuite les variations des éléments du système planétaire, l'auteur montre, au milieu de tous ces changements, la constance des moyens mouvements et des distances moyennes des corps de ce système, « que la nature semble avoir primitivement disposé pour une éternelle durée, par les mêmes vues qu'elle nous paraît suivre si admirablement sur la Terre pour la conservation des individus et la perpétuité des espèces. Par cela seul que ces mouvements sont dirigés dans le même sens et dans des plans peu différents, les orbes des planètes et des satellites doivent toujours être à peu près circulaires et peu inclinés les uns aux autres. Ainsi la variation de l'obliquité de l'écliptique à l'équateur, renfermée constamment dans d'étroites limites, ne produira jamais un printemps perpétuel sur la

nature, erreurs d'autant plus funestes que l'ordre social doit reposer uniquement sur ces rapports. *Vérité*, *justice*, voilà ses bases immuables. Loin de nous la dangereuse maxime qu'il peut être quelquefois utile de tromper ou d'asservir les hommes pour mieux assurer leur bonheur ! De fatales expériences ont prouvé dans tous les temps que ses lois sacrées ne sont jamais impunément enfreintes. » — Dans l'édition de 1824 (sous le règne de Louis XVIII), cette belle péroraison fut supprimée par l'auteur.

Terre. » Puis l'auteur fait voir comment l'attraction du sphéroïde terrestre, ramenant sans cesse vers son centre l'hémisphère que nous présente la Lune, transporte au mouvement de rotation de ce satellite les grandes variations séculaires de son mouvement révolutif, et dérobe pour toujours à nos regards l'hémisphère lunaire opposé. Enfin, partant des observations des trois premiers satellites de Jupiter, il démontre deux théorèmes remarquables, généralement connus sous le nom de *Lois de Laplace*. Ces théorèmes sont : 1° « le moyen mouvement du 1er satellite, plus deux fois celui du 3e, est rigoureusement égal à trois fois celui du second ; 2° la longitude moyenne du 1er, vu du centre de Jupiter, moins trois fois celle du 2e, plus deux fois celle du 3e, est exactement et constamment égale à 180°. » Il résulte du second théorème que les trois premiers satellites de Jupiter ne peuvent jamais être éclipsés à la fois.

La seconde partie de la *Mécanique céleste* est consacrée au perfectionnement des tables astronomiques. Newton, après avoir énuméré les forces si multipliées qui devaient résulter des actions mutuelles des planètes et des satellites de notre système solaire, s'était arrêté comme saisi de vertige en présence de ce dédale où il s'agissait de démêler des variations continuelles de vitesse, de distance, d'inclinaison, etc. C'est cette extrême complication qui fit supposer à Newton que notre système du monde avait besoin, pour le rétablissement de l'ordre, de l'intervention du Tout-Puissant. Mais Laplace, tout en reconnaissant que les ellipses planétaires sont perpétuellement variables, et que les plans de ces courbes n'offren aucune fixité, établit que le grand axe de chaque orbite reste constant, et que par conséquent la durée de la révolution de chaque planète est renfermée dans des limites infranchissables ; et c'est principalement cette dernière quantité qui aurait dû varier, si les préoccupations de Newton eussent été fondées.

Nous avons déjà parlé de la découverte de l'inégalité séculaire du mouvement de la Lune, et des craintes chimériques que Laplace dissipa en expliquant ce phénomène. « L'inégalité séculaire du mouvement de la Lune, dit-il, est périodique ; mais il lui faut des milliers d'années pour se rétablir. L'excessive lenteur avec laquelle elle varie l'aurait rendue imperceptible depuis les observations anciennes, si sa valeur en s'élevant à un grand nombre de degrés ne produisait pas des différences considérables entre les mouvements séculaires de la Lune observés à diverses époques. Les siècles suivants développeront la loi de sa variation ; on pourrait même dès à présent en connaître et devancer les observations si les masses des planètes étaient bien déterminées. »

Les perturbations lunaires ont fourni à Laplace une riche moisson de vérités astronomiques, telles que le mouvement de rotation de la Terre autour de son axe est invariable, ou, du moins, que la durée du jour n'a point changé de la centième partie d'une seconde depuis deux mille ans ; que les perturbations lunaires donnent la mesure de notre distance au Soleil, de l'aplatissement de notre planète, etc.

A l'époque où Laplace s'occupait des grandes inégalités de Jupiter et de Saturne, on discutait encore pour savoir si les anneaux de Saturne étaient immobiles, ou doués d'un mouvement de rotation. « Par quel mécanisme, se demandait-il, ces anneaux se soutiennent-ils autour de cette planète? Il n'est pas probable que ce soit par la simple adhérence de leurs molécules ; car alors les parties voisines de Saturne, sollicitées par l'action toujours renaissante de la pesanteur, se seraient à la longue détachées des anneaux qui, par dégradation insensible, auraient fini par se détruire, ainsi que tous les ouvrages de la nature qui n'ont point eu les forces suffisantes pour résister à l'action des causes étrangères. Ces anneaux se maintiennent donc sans effort, et par les seules lois de l'équilibre ; mais il faut pour cela leur supposer un mou-

vement de rotation autour d'un axe perpendiculaire à leur plan, et passant par le centre de Saturne, afin que leur pesanteur vers la planète soit balancée par leur force centrifuge due à ce mouvement[1]. » Ce fut encore par la puissance du calcul que Laplace aborda et résolut ce difficile problème. Enfin l'auteur de la *Mécanique céleste* arrive à cette conclusion, que la nature tient en réserve des forces conservatrices et toujours présentes, qui agissent aussitôt que le trouble commence, et d'autant plus que la perturbation est plus grande, et que c'est cette puissance préservatrice qui, pénétrant toutes les parties de l'univers, nous en garantit l'ordre, la perpétuité et l'harmonie.

Depuis l'apparition de l'*Exposition du système du monde* et de la *Mécanique céleste* de Laplace, bien des observateurs et des calculateurs sont entrés en lice pour le progrès de l'astronomie. Parmi les morts, nous nous contenterons de rappeler les noms de John Herschel, de Bessel, de Gauss, d'Encke, de Maedler, de W. Struve, d'Arago, et, parmi les vivants, nous citerons MM. Airy, Argelander, Peters, Hind, Adams, O. Struve, Hansen, Cayley, Mac-Lear, Henderson, Secchi, Faye, Villarceau, Plantamour, Wolf, etc. Mais c'est particulièrement à M. Le Verrier, qui par la seule puissance du calcul a reculé les limites de notre monde, que revient la tâche d'entreprendre une révision complète de notre système planétaire. Espérons que l'habile directeur de l'Observatoire de Paris réunira bientôt en un corps d'ouvrage toutes ses *Recherches astronomiques*, pour en faire part au public.

1. Voyez l'article *Laplace* de M. Merlieux, dans la *Biographie générale*.

CHAPITRE XI.

LES MONDES ET LES UNIVERS LOINTAINS.

Nous allons, dans ce chapitre, passer rapidement en revue les travaux qui, franchissant les limites de notre système planétaire, ont pour but de nous donner une idée des mondes lointains, en apparence tout à fait indépendants du nôtre. Ces mondes ne sont plus représentés à nos yeux que par leurs centres, points étincelants, dont l'étude compose l'*Astronomie stellaire.*

Distance des étoiles.

C'est par une illusion optique, dont s'étaient déjà défiés les anciens, que nous voyons les étoiles projetées sur une surface sphérique. Galilée n'hésita pas à déclarer que leurs distances sont tellement variées, qu'il y a des étoiles qui sont deux, trois fois, etc., plus éloignées les unes que les autres[1].

Quelle est la distance qui nous sépare de l'étoile sup-

1. *Œuvres de Galilée*, t. XII, p. 205 (édition de Milan)

posée la plus voisine de notre Terre? Pour résoudre cette question, Galilée, Gregory, Huygens, Robert Lelong, W. Herschel, proposèrent diverses méthodes qui toutes sont fondées sur la comparaison des intensités dissemblables de deux étoiles très-rapprochées l'une de l'autre. Mais ces méthodes furent bientôt abandonnées.

Pour arpenter l'espace qui sépare notre monde de tous les autres mondes, on a pris pour mesure la plus grande base qui ait été mise à la disposition de l'homme, le grand diamètre de l'orbite terrestre. Encore cette base, de 75 millions de lieues, est-elle insuffisante; car, vue de l'étoile supposée la plus proche, elle ne sous-tendrait qu'un angle d'une fraction de seconde, et cet angle qui n'est exagéré qu'avec de mauvais instruments, diminue encore à mesure que la vision armée se perfectionne. On peut donc dire, d'une manière générale, que le grand diamètre de l'orbite terrestre s'évanouit devant la distance qui nous sépare des étoiles.

Néanmoins diverses tentatives furent faites pour évaluer cette distance. Ainsi, Herschel trouva pour le diamètre angulaire de α (Wéga) de la Lyre $\frac{9}{25}$, et pour Arcturus $\frac{1}{5}$ de seconde, obtenu avec son micromètre à lampe et avec un grossissement de 1000 fois. Si ces mesures angulaires étaient réelles, la première étoile aurait 14 millions de lieues de diamètre, et la seconde 8 millions, ce qui est probablement fort exagéré. Des résultats semblables ont été obtenus par Bessel (0″,35), en observant de 1837 à 1840, à Kœnigsberg, la 61[e] du Cygne; par Henderson et Mac-Lear (0″,91), en observant, de 1832 à 1839, α du Centaure, au cap de Bonne-Espérance; puis par Otto Struve à Dorpat, par L. Peters à Poulkova, etc.

On a essayé de donner une idée des distances stellaires, en prenant pour mesure le temps que la lumière met pour nous venir du Soleil (environ 37 millions de lieues en 8 minutes). Ainsi on a trouvé que la lumière mettrait plus de 3 ans pour nous venir de α du Centaure,

plus de 9 ans pour la 61e du Cygne, plus de 25 ans pour Arcturus, plus de 71 ans pour α de la Lyre, etc.

Si la quantité dont la Terre se déplace dans son mouvement annuel, peut être considérée comme beaucoup trop petite pour servir de mesure à la distance des étoiles, il n'en sera sans doute pas de même de la quantité dont le Soleil, suivi de son cortége de planètes, se déplace, d'après Bessel, avec une vitesse d'au moins dix-sept lieues par seconde (plus du double de la vitesse de translation de la Terre autour du Soleil). Des siècles d'observations, soigneusement continuées, montreront peut-être comment les mouvements parallactiques se combineront avec les mouvements réels; comment, dans certaines régions, les premiers annuleront les seconds; comment telle étoile paraîtra immobile, qui ailleurs semblera se mouvoir rapidement, par l'effet des deux mouvements dans le même sens. Enfin, ces observations réunies pourront suffire pour fournir une base suffisante à la détermination exacte de la parallaxe des étoiles les plus voisines de notre monde.

Mouvement propre des étoiles.

A la question précédente se trouve intimement liée celle du *mouvement propre des étoiles.* On ne pouvait songer à cette difficile étude avec quelque chance de succès, tant que les instruments appliqués aux lunettes et destinés à mesurer les angles ne donnaient pas des fractions de seconde d'arc avec une précision extrême. Aussi Halley se bornait-il encore, en 1717, à comparer les positions indiquées sur les catalogues modernes avec les positions du catalogue d'Hipparque, comprenant un intervalle de temps de 1844 ans : ce fut par les différences qu'il y remarquait, qu'il se crut fondé à attribuer des mouvements

propres à trois étoiles principales, à *Sirius*, *Arcturus* et *Aldébaran*[1].

Le travail de Halley ne portait que sur des variations en latitude. Jacques Cassini s'est le premier occupé des variations en longitude. Mais ce n'est que depuis W. Herschel, en 1783, et surtout depuis les travaux de Bessel et d'Argelander, qui ont comparé leurs propres catalogues avec les positions observées par Bradley, que datent les premières déterminations numériquement exactes. Il en résulte qu'il y a des étoiles qui se déplacent annuellement depuis $\frac{1}{20}$ de seconde jusqu'à près de 8 secondes, et que ce sont, non pas toujours les étoiles les plus brillantes, mais le plus souvent des étoiles de 5e, 6e et 7e grandeur, qui présentent les mouvements les plus sensibles[2].

Sans doute ces quantités angulaires sont très-petites; mais elles deviennent relativement très-considérables en s'accumulant. C'est ainsi que, par exemple, Arcturus, dont le mouvement propre annuel est de 2″,25, s'est déplacé, depuis vingt siècles, d'une fois et demie le diamètre apparent de la Lune, et μ de Cassiopée (dont le mouvement annuel de 3″,74) s'est déplacé, dans le même espace de temps, de quatre fois et demie le diamètre lunaire. Voilà comment à la longue toutes les constellations finiront par se déformer. Ce sera donc à la postérité de résoudre le grand problème de la translation de notre monde dans l'espace, ou de l'orbite que le Soleil parcourt avec son cortége de planètes, problème que nous ne pouvons encore que poser comme d'une existence certaine[3].

1. *Philosophical Transactions*, t. XXX, p. 736.

2. Schumacher, *Astronomische Nachrichten*, t. XVI, p. 6. *Memoirs of astronomical Society*, t. V et XI.

3. Peu de temps avant sa mort, arrivée le 17 mars 1846, Bessel émit l'opinion (consignée par Humboldt dans le t. III, p. 219, du *Cosmos*) que les étoiles, dont on a constaté des mouvements propres sensibles, appartiennent à des systèmes relativement très-circonscrits dans l'espace, et qu'il y a probablement un corps attirant, opaque

Étoiles variables.

La première observation d'une étoile variable, à période constante, remonte à la fin du seizième siècle [1]. Holwarda montra le premier que les étoiles peuvent avoir des alternatives de disparition et de réapparition. Cet objet de recherches fut repris par Hévélius, Bouillaud et D. Cassini. Hévélius écrivit un long chapitre sur la *Mira Ceti*. Bouillaud remarqua que « la merveilleuse étoile de la Baleine » ne s'éteignait pas pour se rallumer, mais qu'elle éprouvait, dans son intensité, une période ascendante et une période descendante, et qu'elle employait 333 jours (334 selon D. Cassini), pour aller de son *minimum* (6e grandeur) à son *maximum* d'éclat (1re à 2e grandeur). Herschel en détermina approximativement la période [2], fixée depuis par Argelander à 331 jours 13 heures 7 minutes.

La découverte de l'étoile variable o de la Baleine fut suivie, dans le même siècle, de celle de β de Persée par Montanari (en 1669), de celle de χ du Cygne par Kirch (en 1687). Le nombre des étoiles variables à périodes déterminées s'accrut depuis lors d'une trentaine jusqu'en 1848. Argelander en a donné le tableau, accompagné de remarques intéressantes [3].

Beaucoup d'étoiles varient dans des périodes tout à fait

assez rapproché de ces étoiles. Les travaux de Peters sont venus depuis, en partie, confirmer cette opinion.

1. Voy. plus haut, p. 400.

2. *Philosophical Transactions*, année 1780. Ce fut le premier des nombreux mémoires que W. Herschel communiqua depuis lors à la Société Royale de Londres.

3. Ce tableau a été reproduit dans le t. III du *Cosmos* (p. 197) d'A. de Humboldt.

inconnues. D'après les tables d'Herschel, dressées sur le catalogue de Flamsteed (publié en 1712), les étoiles subissent des changements d'éclat et de couleur dans la proportion de 1 sur 30. Ainsi, α de la grande Ourse, qui était au dix-septième siècle une étoile de 1re grandeur, n'est plus classée aujourd'hui que parmi les étoiles de 2e grandeur. La 55e de la constellation d'Hercule avait été notée comme une étoile ordinaire de 5e grandeur. W. Herschel la vit rouge le 10 octobre 1781; le 11 avril 1782, il l'aperçut encore, et, le 24 mars 1791, elle avait complétement disparu. Parmi d'autres étoiles également disparues depuis Flamsteed, Herschel signala la 9e et la 10e de la constellation du Taureau.

S'il y a des étoiles qui diminuent d'éclat et disparaissent même entièrement, il y en a d'autres dont l'intensité lumineuse va, au contraire, en augmentant. Ainsi W. Herschel rangeait β de la Baleine, β des Gémeaux et du Sagittaire, parmi les étoiles dont l'éclat augmente graduellement[1].

Étoiles nouvelles.

Les anciens avaient déjà parlé d'apparitions d'étoiles nouvelles, mais devant le dogme de l'*incorruptibilité du ciel*, *ἀφθαρσία οὐράνου*, établi par Aristote, ces sortes de récits avaient toujours été traités de fables. Les observations de Tycho et de Kepler ne laissèrent plus de doute sur la réalité du phénomène. Tycho vit en automne de 1572, près du zénith, dans Cassiopée, une étoile de 1re grandeur dont l'éclat surpassait celui de Sirius, de la Lyre et de Jupiter. Visible en plein jour, elle resta blanche pendant deux mois; puis elle passa au jaune et au rouge; au printemps de 1573, elle redevint blanchâtre,

1. *Method of observing the changes which happen to the fixed stars*, dans *Philosophical Transactions*, année 1796.

passa à l'état de 5e grandeur, et disparut complétement en mars 1574[1].

L'étoile nouvelle que Kepler observa, en automne de 1604, dans le Serpentaire, était également de 1re grandeur, surpassant Jupiter en éclat[2]. Elle diminua rapidement; car déjà le 16 novembre il ne l'aperçut plus ; mais d'autres observateurs continuèrent de la voir jusqu'en mars 1606, où elle disparut entièrement.

A la fin du même siècle, le P. Anthelme aperçut (le 10 juin 1670), dans la tête du Renard, assez près de β du Cygne, une étoile nouvelle de 3e grandeur, qui diminua rapidement d'éclat et disparut au bout de trois mois [3]. Parmi les découvertes plus récentes du même genre, nous ne mentionnerons que celle de M. Hind. Cet habile observateur aperçut, dans la nuit du 28 avril 1848, dans la constellation d'Ophiuchus, une étoile de 4e grandeur, qui diminua assez vite d'éclat, sans changer de place, et disparut au bout de quelques mois.

De toutes les explications qu'on a essayé de donner du phénomène en question, celle qui nous paraît la plus plausible, c'est de considérer les étoiles nouvelles comme des *mondes qui s'éteignent*, et qui, au moment de s'éteindre, jettent un très-vif éclat.

Étoiles doubles ou multiples.

Kant, dans son *Histoire naturelle et Théorie du ciel* (en 1755) et Lambert, dans ses *Lettres cosmologiques* (en 1761), pensaient que les étoiles, ces soleils lointains, doivent être comme notre propre Soleil, entourées d'un cor-

1. Tycho-Brahé en a donné un récit circonstancié, que nous avons reproduit plus haut, p. 327.

2. Cette étoile avait été aperçue pour la première fois par Jean Brunowski, élève de Kepler, le 10 octobre 1604.

3. J. Cassini, *Éléments d'astronomie*, p. 69.

tége de globes opaques, semblables à nos planètes ; et que les étoiles qui sont rapprochées les unes des autres, tournent autour d'un centre de gravitation commun. Michell, appliquant le calcul des probabilités à l'étude des groupes stellaires et surtout aux étoiles multiples, prouva qu'il y avait 300 000 à parier contre 1, que la réunion des 6 étoiles principales des Pléiades ne pouvait pas être l'effet du hasard et qu'une cause quelconque avait dû en opérer le rapprochement, et il se montra tout à fait persuadé de l'existence d'étoiles tournant les unes autour des autres[1].

Christian Mayer, directeur de l'observatoire de Mannheim (né en 1719, mort en 1783), observa le premier avec suite (dès 1778) les étoiles doubles, et appliqua le nom de *satellites* à des étoiles qu'il rattachait à Arcturus, quoiqu'elles en fussent éloignées de deux degrés. Cette manière de voir[2], qui fut confirmée plus tard, l'exposa aux railleries de ses contemporains.

Ce fut W. Herschel qui élucida la question. Ses catalogues de 1782, 1783 et 1804 contiennent 846 couples stellaires, presque tous découverts ou mesurés par lui. Il les divisa en quatre classes : la 1re contient tous les groupes dans lesquels les centres des deux étoiles ne sont pas à plus de 4 secondes l'un de l'autre; la 2e classe comprend les groupes où cet écartement angulaire est de 4 à 8 secondes ; la 3e, ceux où il est de 8 à 16 secondes, et la 4e, où il est de 16 à 32 secondes. Herschel eut l'idée de se servir des groupes binaires pour déterminer la parallaxe annuelle des étoiles, c'est-à-dire l'angle sous lequel se verrait d'une étoile le rayon de l'orbite terrestre. Mais les observations qu'il fit à ce sujet, en 1782, sur les positions relatives de ε du Bouvier et de la petite étoile qui l'avoisine, lui montrèrent que ces deux étoiles n'ont pas de

1. *Philosophical Transactions*, t. LVII, p. 224.

2. Ch. Mayer, *De novis in cœlo sidereo phænomenis*, dans le recueil des mémoires de l'Académie de Mannheim, t. IV, 1780.

parallaxe sensible, et, au lieu de trouver ce qu'il cherchait, il apprit, chose non moins importante, que les étoiles doubles ne sont pas toutes un simple effet de projection ou de perspective (étoiles doubles *optiques*), mais qu'il y en a qui forment de véritables systèmes dont les éléments sont physiquement liés entre eux (étoiles *physiques*) ; il découvrit que leurs positions relatives changent, et que, dans un couple donné, la petite étoile se trouve alternativement à droite et à gauche, au midi et au nord de la plus grande, enfin que l'*étoile satellite* se meut autour de la grande comme une planète autour du Soleil. Voilà comment fut démontré que la gravitation n'enchaîne pas seulement notre monde, mais qu'elle est réellement *universelle.*

Si les angles de position, que W. Herschel avait mesurés avec son micromètre, étaient insuffisants pour calculer avec certitude la durée des révolutions et les autres éléments des orbites des étoiles composantes, il n'en est pas moins certain qu'il mit la science en possession de ce fait capital, que *la même loi qui régit notre système planétaire gouverne les systèmes stellaires ou les mondes lointains.* Ce fait fut repris et développé par le fils du grand astronome, par John Herschel, de 1819 à 1838; par W. et O. Struve, de 1813 à 1842, puis par Argelander, directeur de l'observatoire de Bonn, par Encke, Maedler, Bessel, Hind, Smyth, Villarceau, etc. W. Struve publia, en 1820, son premier catalogue, contenant 796 étoiles doubles ; son second catalogue, paru en 1824, renferme 3112 étoiles doubles, toutes au-dessus de la 9e grandeur et ayant moins de 32″ de distance entre elles ; les cinq sixièmes de ces étoiles étaient inconnues jusqu'alors. Enfin le troisième catalogue, ouvrage capital, intitulé : *Stellarum compositarum mensuræ micrometricæ*, publié en 1837, réduit, élimination faite de toutes les observations incertaines, le nombre des étoiles doubles à 2787. A ce nombre, John Herschel ajouta les 2100 étoiles qu'il avait observées pendant son séjour au cap de Bonne-Espérance. En tenant compte de

celles qui ont été découvertes par Argelander à Abo (de 1827 à 1835), par Encke à Berlin (de 1836 à 1839), par Preuss et Otto Struve à Poulkova, par Maedler à Dorpat, par Mitchell à Cincinnati, on peut porter le nombre des étoiles doubles à au moins 6000.

Parmi ces couples, dont les étoiles composantes sont extrêmement rapprochées, combien y a-t-il d'étoiles doubles purement optiques, et combien y en a-t-il qui sont soumises aux lois de l'attraction et circulent dans des courbes fermées? Cette question a été discutée par O. Struve, qui a trouvé que sur 6000 couples il y en a 650 dont les composantes ont manifestement changé de position relative. Quant à leur distribution, on sait seulement que la majeure partie des étoiles doubles se trouve dans les constellations d'Andromède, du Bouvier, de la Grande Ourse, du Lynx et d'Orion, pour notre ciel boréal; pour le ciel austral, John Herschel a constaté que « dans la partie extra-tropicale de cet hémisphère, le nombre des étoiles multiples est beaucoup plus faible que dans la partie correspondante de la zone opposée. »

Les colorations de certaines étoiles doubles forment l'un des plus beaux phénomènes du ciel. O. Struve a constaté que, dans les couples où l'étoile principale et le satellite ont chacun une couleur différente, on rencontre souvent l'association du jaune et du bleu, comme dans ι de l'Écrevisse, ou de l'orangé et du vert, comme dans l'étoile triple γ d'Andromède; mais que les couples où les étoiles composantes sont blanches, sont les plus nombreux[1]. Arago a montré que ces colorations bicolores ne sont pas toujours des phénomènes de contraste ou de couleurs complémentaires, et qu'il y a des étoiles colorées de leur nature. Si donc les soleils, dont se composent les étoiles multiples, sont entourés de planètes, absolument invisi-

1. O. Struve, *Ueber Doppelsterne nach Dorpater Beobachtungen*, année 1837, p. 33 et suiv.

bles pour nous. ces planètes devront être éclairées par des lumières blanches, bleues, rouges et vertes[2].

Les méthodes de Savary et d'Encke exigent, pour la détermination des éléments de l'orbite d'un couple stellaire, quatre observations complètes, tandis que les méthodes proposées par John Herschel (*Outlines of astronomy*) et de M. Villarceau doivent utiliser immédiatement l'ensemble des observations données. Parmi les plus longues révolutions, celle qui a pu être déterminée avec quelque certitude, est de 500 ans ou le triple de la durée de la révolution sidérale de Neptune. Les plus courtes révolutions des couples stellaires sont de 36 à 77 ans.

D'après les faits connus jusqu'à présent, l'excentricité des ellipses stellaires est très-considérable. Sous ce rapport, les orbites des étoiles multiples se rapprochent des orbites des comètes[1].

Le ciel étoilé (notre univers). — Les Nébuleuses.

Par une conception hardie, Lambert, que nous retrouverons à l'*Histoire des Mathématiques*, a le premier, selon nous, essayé de donner au ciel étoilé, à notre univers, une forme circonscrite dans l'espace. A cet effet, il s'est appuyé sur un fait visible pour tous, à savoir qu'en dehors de la Voie Lactée, composée de nombreuses agglomérations stellaires, notre ciel est relativement très-pauvre en étoiles. « Comme un anneau, garni de brillants, la Voie Lactée enchâsse le firmament. Son contour est irrégulier, et sa largeur fort inégale, de trois degrés en certains endroits, et en d'autres de vingt-cinq jusqu'à trente. On la

2. Arago, *Annuaire du Bureau des Longitudes*, années 1834 et 1842.

1. Maedler, *Beiträge zur Fixsternkunde*, p. 47 et suiv. (Haarlem, 1856, in-4°),

dirait brisée, déchirée ou fendue en plusieurs pièces, dont quelques-unes semblent déborder. Pourquoi en dehors de l'anneau de notre ciel étoilé n'y aurait-il pas encore d'autres cieux?... La Voie Lactée est visiblement détachée du reste de notre ciel, et le nombre de ses étoiles, comparé à celui des étoiles qui sont situées en dehors d'elle, est comme un océan comparé à des gouttes d'eau [1]. »

Lambert admettait que les étoiles ont entre elles des distances au moins aussi grandes que celle qui sépare Sirius de notre Soleil, et que les étoiles de la Voie Lactée sont disposées par couches les unes derrière les autres. « Considérons à présent, ajoute-t-il, tout l'ensemble des étoiles visibles, et nous comprendrons que cet ensemble ne présente pas une figure sphérique, mais plutôt celle d'un plan matériel ou d'un disque, dont le diamètre est beaucoup plus grand que l'axe qui en mesure l'épaisseur; c'est la forme d'un cylindre ou d'un sphéroïde fort aplati, qui, contre une rangée de cent étoiles dans son épaisseur, doit en avoir des centaines de mille dans sa longueur; c'est ce qui donne le coup d'œil, l'aspect de la Voie Lactée. »

Lambert reprit l'idée de Kepler, d'après laquelle notre Soleil est situé près de l'anneau stellaire qui forme la Voie Lactée; et son contemporain, le célèbre philosophe Kant, a, dans un fort intéressant opuscule, intitulé : *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels* (Histoire naturelle générale et théorie du Ciel [2]), exposé des vues fort ingénieuses sur la constitution du ciel, vues dont des observateurs plus récents ont fait leur profit.

Le grand problème de la *structure du Ciel* fut enfin

1. Lambert, *Cosmologische Briefe,* p. 118 et suiv. (Augsb., 1761, n. 8). Ces *Lettres Cosmologiques* ont été abrégées et traduites en français sous le titre de *Système du monde,* par Mérian (Bouillon, 1770, in-8):

2. Cet opuscule fut publié en 1755. Il en parut une nouvelle édition en 1798.

résolûment abordé par W. Herschel, qui entreprit le premier le dénombrement des étoiles à l'aide de moyens d'observation jusqu'alors inconnus.

Sur toute l'étendue de notre ciel (boréal et austral), on ne compte pas plus de 4100 étoiles visibles à l'œil nu (de 1re à 6e grandeur inclusivement; ce n'est que par une sorte d'illusion optique qu'on est porté à en exagérer le nombre. Avec l'aide de forts télescopes on est parvenu à en porter le nombre à 28 697 000 (jusqu'aux étoiles de 14e grandeur inclusivement).

Herschel essaya d'introduire plus de précision dans la classification des étoiles, en déterminant le rapport qui existe entre l'intensité d'une étoile de 1re grandeur et l'intensité d'une étoile de 2e, de 3e, etc., grandeur. Il trouva, d'après une méthode particulière, que si l'on réduisait, par exemple, Arcturus, étoile de 1re grandeur, au quart de sa lumière, on obtiendrait une étoile de 2e grandeur; qu'avec le $\frac{1}{16}$ on aurait une étoile de 4e grandeur, etc.; enfin que, d'après la moyenne de la même réduction, les étoiles de 1re grandeur pourraient être réduites au 144e de leur éclat avant de cesser d'être visibles à l'œil nu, c'est-à-dire avant de passer à la 6e grandeur. Considérant la même question sous un autre point de vue, il croyait pouvoir établir qu'Arcturus, transporté au double de sa distance, deviendrait une étoile de 2e grandeur, qu'à la distance quadruple Arcturus ne serait plus qu'une étoile de 4e grandeur, et qu'en moyenne une étoile de 1re grandeur, transportée à 12 fois sa distance actuelle, cesserait d'être visible à l'œil nu.

La Voie Lactée devint pour Herschel l'objet d'une étude spéciale. Chaque portion se montrait à son télescope comme un amas d'étoiles. La traînée blanche que l'on remarque près de la main et de la massue d'Orion, fixa d'abord son attention. « La glorieuse multitude (*the glorious multitude*) d'étoiles que j'y voyais, est, dit-il, vraiment prodigieuse; mais, comme leur éclat et leur scintil-

lation peuvent facilement nous tromper sur leur nombre, je devais m'y prendre d'une certaine façon pour avoir la moyenne de la quantité d'étoiles contenues dans une portion donnée de la Voie Lactée. Je trouvai ainsi (le 18 janvier 1784) que six champs de vision (du télescope), pris indistinctement, renfermaient chacun 110, 60, 70, 90, 70 et 74 étoiles. Je choisissais ensuite un champ où je ne comptais que 63 étoiles : c'était le plus pauvre du voisinage. La moyenne des six premiers donna 79 étoiles pour chacun. Par conséquent, en accordant au diamètre de mon champ de vision 15 minutes d'un grand cercle, on pourra admettre qu'une portion de la Voie Lactée de 15 degrés de long sur 2 de large, ou ce que je voyais passer par le champ de mon télescope en une heure de temps, contenait au moins 50 000 étoiles, assez grandes et assez distinctes pour être énumérées; et je pense que, avec plus de lumière et de netteté, on en aurait un nombre double[1]. »

Mais il ne suffisait pas seulement de dénombrer les étoiles dans les régions de la Voie Lactée où elles paraissent le plus amoncelées, il s'agissait aussi de savoir si et dans quelles proportions leur nombre diminue en s'écartant graduellement de ces régions. C'est dans ce but que W. Herschel employa sa méthode si célèbre, qu'il appelait lui-même, en langage figuré, le jaugeage du ciel (*gaging of the heavens*) ou la jauge stellaire (*star-gage*). Cette méthode consistait à compter avec son télescope (dont le champ embrassait un cercle de 15 minutes de diamètre) successivement le nombre d'étoiles contenues dans dix champs très-rapprochés, puis à additionner les nombres et à diviser la somme par dix; le quotient indiquait la richesse moyenne de la région *jaugée*. La même opération lui donnait un résultat analogue pour une seconde région, puis pour une troisième, et ainsi de suite. Quand les quotients ainsi

1. W. Herschel, *On the Construction of the heavens*, p. 3 et suiv. (Lond., 1785).

obtenus étaient doubles, triples, etc., du premier, il en concluait légitimement qu'à égalité d'étendue, la 2e, la 3e, etc., région contenait deux fois, trois fois, etc., plus d'étoiles que la première. Les régions les plus pauvres ne contenaient que 1 à 5 étoiles; il y en avait même où il fallait embrasser au moins quatre champs successifs pour rencontrer 3 étoiles : c'étaient les régions latérales, la plupart les plus éloignées de la Voie Lactée. Ailleurs, ces champs si restreints renfermaient 300, 400, 500 et même 580 étoiles. Enfin, dans les endroits les plus riches de la Voie Lactée, l'œil, appliqué à l'oculaire du télescope, voyait dans l'espace d'un quart d'heure passer devant lui jusqu'à 11 600 étoiles.

Au lieu d'être uniformément distribuées dans toute l'étendue de la Voie Lactée, les étoiles formaient, çà et là des groupes circonscrits, distincts. Herschel enregistra 175 de ces groupes ou agglomérats stellaires, parmi lesquels il faut signaler, comme l'un des plus brillants, l'espace qui sépare β et γ du Cygne : la jauge lui fit compter là, sur une largeur de cinq degrés, environ 331 000 étoiles; il crut y remarquer en même temps une sorte de dislocation de la masse du pouvoir de concentration (*clustering power*); 165 000 étoiles paraissaient se porter d'un côté, et 165 000 de l'autre. Ses observations multipliées lui firent ainsi constater que la Voie Lactée a environ cent fois plus d'étendue dans une direction que dans une autre; il donna même, sous forme d'une figure solide, une coupe de ce vaste amas stellaire, où notre Soleil n'est qu'une étoile et notre Terre un imperceptible grain de poussière. « Ce qui prouve, dit Herschel, que notre Soleil s'y trouve, c'est la forme même de la Voie Lactée qui embrasse tout le ciel; il n'est pas très-loin de cet anneau stellaire et à peu près dans la direction de l'angle de bifurcation, dont les deux branches, partant de la constellation du Cygne, vont se rejoindre près de α du Centaure. Car, supposons une couche (*strate*) d'étoiles

comprise entre deux plans parallèles et rapprochés, mais prolongés à d'immenses distances; l'œil, placé quelque part dans cette strate, verra, dans la direction des plans parallèles, toutes les étoiles comme projetées sur un grand cercle, très-condensées et formant par leur accumulation une traînée lumineuse, tandis que latéralement, à droite et à gauche, les autres portions du ciel ne seront garnies que d'un nombre d'étoiles comparativement beaucoup moindre et dans le rapport de la demi-épaisseur aux autres dimensions de la strate. »

Nous voilà bien loin de la *Galaxie*, du lait de Junon des Grecs, du *Fleuve céleste* des Chinois, du *Chemin de saint Jacques de Compostelle*, du *Chemin des âmes*, etc., noms qui ont été donnés à la Voie Lactée par des croyances populaires. La Voie Lactée, comme l'a montré W. Herschel, est, en quelque sorte, le châssis du Tableau de notre ciel, de notre univers. Transporté à 334 fois seulement ses dimensions, ce tableau, tout notre ciel étoilé, ne se verrait plus, dans le champ d'une lunette, que sous un angle de 10 minutes, et la lumière mettrait plus d'un million d'années (à raison de 75 000 lieues par seconde) pour nous instruire de l'existence de notre ciel étoilé, de notre univers, de notre *nébuleuse stellaire*, de forme lenticulaire.

Nébuleuses.

A la simple vue, le petit groupe stellaire connu sous le nom de *Pléiades* [1] ressemble à une nébuleuse. Seulement, — et cette différence est capitale, — la constellation des Pléiades fait partie de notre ciel étoilé, tandis

1. Les Pléiades étaient, dans l'antiquité, la constellation des Navigateurs, comme l'indique l'étymologie du nom (de πλεῖν, naviguer), parce que ce groupe stellaire était visible pendant l'époque de la navigation dans la Méditerranée.

que les nébuleuses (amas stellaires) proprement dites paraissent, dans un incalculable lointain, former d'autres cieux.

Pendant tout le dix-septième siècle, où furent, comme nous l'avons montré plus haut, découvertes les premières nébuleuses, on n'a rien ajouté à cet important chapitre de l'astronomie. Cependant, dès 1610, Galilée avait ouvert la voie par la découverte du *Præsepe* (amas stellaire) dans le Cancer, et par celle de la nébuleuse située à la tête d'Orion. Cet amas stellaire, que Galilée nomme lui-même *nebulosa Orionis*, ne doit pas être confondu avec la grande nébuleuse d'Orion, découverte par Huygens [1]. La belle nébuleuse d'Andromède, découverte en 1614 par Simon Marius, était encore si peu connue vers la fin du même siècle que plusieurs astronomes l'avaient prise pour une comète.

Dominique Cassini avait déjà dit, en parlant des nébuleuses d'Andromède et d'Orion : « Nous ne savons pas si l'on ne pourrait pas avoir des lunettes assez grandes pour que toute la nébulosité pût se résoudre en de plus petites étoiles, comme il arrive aux nébulosités du Cancer et du Sagittaire. »

La question de savoir si toutes les nébuleuses sont ou non des *amas stellaires* vint ainsi se poser naturellement.

Derham, l'auteur de l'*Astronomie théologique* (né en 1657, mort en 1735), Kant et Lambert affirmaient que les véritables nébuleuses sont dépourvues d'étoiles : ils admettaient avec Kepler l'existence d'une *matière cosmique*, très-subtile, d'un fluide vaporeux dont la condensation globuleuse formerait les étoiles. John Michell [2] professait l'opinion contraire : pour lui, toutes les nébuleuses sont des amas stellaires, des agglomérations d'étoiles très-petites, télescopiques ou très-éloignées.

1. Voyez plus haut, p. 403.
2. *Philosophical Transactions*, t. XVII, p. 251, année 1767.

Halley, dans les *Philosophical Transactions* de l'année 1717, Lacaille, dans son *Catalogue des étoiles du ciel austral*, et surtout Messier, dans son *Catalogue des nébuleuses et des amas stellaires* (Mém. de l'Acad. des siences, année 1771), essayèrent les premiers de fixer l'attention des observateurs sur les nébuleuses. Mais c'est surtout aux travaux de W. Herschel que l'on doit une connaissance plus exacte de cet important sujet d'études.

On peut, suivant W. Herschel, diviser les nébuleuses en deux classes : en celles que les télescopes montrent composées d'une quantité innombrable d'étoiles (*nébuleuses résolubles* en amas stellaires), et en celles qui n'ont pu encore être résolues ou qui paraissent réellement *non résolubles*.

Nébuleuses résolubles ou stellaires.

Le catalogue de Messier, publié dans la *Connaissance des Temps* pour 1783 et 1784, contient l'énumération de 103 nébuleuses jusqu'alors connues. Ce catalogue devint, pour Herschel, le point de départ d'un mémoire remarquable, lu à la Société royale de Londres le 17 juin 1784. Herschel examina les nébuleuses presque toujours avec le même télescope (de 20 pieds de longueur focale et de 18,7 pouces d'ouverture), afin de pouvoir se prononcer avec plus d'assurance sur les changements que ces taches cosmiques auraient pu éprouver avec le temps. « Jusqu'à présent, dit le grand astronome, on a considéré les cieux sidéraux (*the sidereal heavens*) comme la surface concave d'une sphère au centre de laquelle se trouverait placé l'observateur. Mais désormais nous les considérerons, à l'instar du géologue, comme d'immenses chaînes de montagnes, dont les coupes verticales mettent à découvert les *strates* de leurs terrains diversement inclinés. La surface d'un globe ou d'un planisphère ne donnera donc

qu'une idée impropre de la constitution intérieure des cieux. »

La plupart des nébuleuses, indiquées dans le Catalogue de Messier et Méchain comme irréductibles, cédèrent à la puissance de l'instrument d'Herschel : elles furent résolues en étoiles (*resolved into stars*). Ainsi, par exemple, la nébuleuse portant le n° 53 de ce Catalogue avait été caractérisée en ces termes : « Nébuleuse sans étoiles, découverte près de la chevelure de Bérénice, etc. » Herschel, dans son 170e balayage (*sweep*) céleste, corrigea ainsi cette remarque : « Amas d'étoiles très-serrées ; un des plus beaux objets que je me rappelle avoir jamais vu au ciel ; l'amas a la forme d'un ballon solide, composé d'étoiles très-rapprochées au centre et plus écartées les unes des autres au pourtour. »

Les nébuleuses résolubles affectent les formes les plus variées : les unes paraissent doubles ou triples, et garnies de différentes branches ; les autres sont très-effilées comme des lignes lumineuses droites ou sinueuses ; d'autres ressemblent à des comètes munies de longues queues ; il y en a qui sont ouvertes en éventail et présentent l'aspect des aigrettes de lumière qui s'échappent d'une pointe fortement électrisée. La nébuleuse perforée ou en anneau, située entre β et γ de la Lyre, et que Messier et Méchain (le n° 57 de leur Catalogue) ne parvinrent pas à résoudre, fut résolue et classée par Herschel parmi les curiosités du firmament.

« Toutes les nébuleuses stellaires sont, dit Herschel, disposées par couches fort étendues, et paraissent, comme notre Voie Lactée, offrir des ramifications et inclinaisons très-variées.... En général, je les découvrais dans certaines directions plus facilement que dans d'autres ; les espaces qui les précédaient étaient, pour la plupart, entièrement dénués d'étoiles : rien ne se présentait dans le champ de la vision ; et lorsque en cheminant ainsi (par le mouvement du ciel, le télescope restant immobile), je ve-

nais à rencontrer tout à coup quelques étoiles d'une certaine grandeur, j'étais sûr de l'apparition presque immédiate d'une nébuleuse. Cette remarque se répétait si souvent, que je disais alors à l'aide qui devait compter le temps : « Préparez-vous, me voici sur un fond de nébuleuses (*on nebulous ground*)[1]. » Les espaces les plus pauvres ou les plus noirs étaient voisins des nébuleuses les plus riches en étoiles.

Nébuleuses diffuses, non résolues ou non résolubles.

Pour ceux qui croient au perfectionnement indéfini du télescope et qui se rappellent que des nébuleuses, qui passaient d'abord pour non résolubles, furent plus tard résolues en amas stellaires, les nébuleuses diffuses (comme celles d'Andromède et de la Garde de l'Épée d'Orion) ne sont que des amas stellaires *non encore résolus*. Ces mêmes nébuleuses sont, au contraire, véritablement *non résolubles* pour ceux qui pensent que nous assistons, de notre imperceptible demeure, au spectacle inexprimablement grandiose de la transformation d'étoiles, au spectacle de la naissance et de l'extinction de mondes. Cette idée, qui fut celle de Kant et de Lambert, était aussi celle de Herschel.

Pour Halley, les nébuleuses non résolues d'Andromède et d'Orion étaient l'effet de la lumière venant d'un espace immensément lointain, d'une région inconnue, remplie probablement d'un milieu lumineux par lui-même. C'est ce qui les faisait comparer par Derham à des perspectives sur l'empyrée.

W. Herschel publia, en 1811, un Catalogue de 52 *nébuleuses diffuses*.

1. W. Herschel, *On the Construction of the heavens*, p. 15.

Ces nébuleuses peuvent affecter toutes les formes fantastiques que présentent les nuages emportés ou tourmentés par des ouragans contraires. Leur lumière opaline, phosphorescente, offre çà et là des espaces plus brillants. Ces espaces semblent être moins un effet de projection visuelle que le résultat d'une force attractive ou de condensation, sans cesse agissante. Mais là sans doute notre échelle du temps est infiniment trop courte : nos siècles ne sont que des secondes, et ce sujet d'observation ne date, pour ainsi dire, que d'hier. Cependant Herschel, en comparant ses observations des années 1780 et 1783 à celles de 1811, crut avoir constaté des changements d'étendue et de forme sensibles dans la nébuleuse d'Orion; il en avait d'autant plus l'assurance que ses observations, faites à des époques différentes, l'avaient été avec le même instrument. Mais l'annonce de W. Herschel excita beaucoup d'incrédulité, et le fils même de l'illustre astronome, John Herschel, s'est par la suite rangé parmi les sceptiques.

Les petites nébulosées arrondies, isolées, beaucoup plus rares que les autres, ont été distinguées par W. Herschel en *nébuleuses planétaires* et en *étoiles nébuleuses*.

Les *nébuleuses planétaires* étaient ainsi appelées par Herschel à cause de leur forme circulaire ou légèrement elliptique, comme celle de nos planètes. Il en découvrit qui avaient 10, 15 et même 20 secondes de diamètre.

Par *étoiles nébuleuses* W. Herschel entendait de véritables étoiles, entourées d'atmosphères phosphorescentes faisant corps avec elles, comme l'est, par exemple, l'étoile de 8e grandeur située sur le pied gauche de Persée, non loin de ζ de cette constellation. Ces atmosphères lumineuses, circulaires, ont une immense étendue, et rappellent tout à fait la lumière zodiacale. Herschel alla jusqu'à supposer que les *nébuleuses diffuses*, marquées de condensations plus ou moins lumineuses, qui leur donnent l'appa-

rénce de têtes de comètes, sont les premières ébauches des étoiles, que les *étoiles nébuleuses* en sont l'époque de maturation ou le passage de la matière cosmique diffuse à l'état d'étoile parfaite, et que les *nébuleuses planétaires* en sont la période de déclin ou d'extinction graduelle.

En résumé, le total des nébuleuses, tant résolues, — amas stellaires, univers lointains, — que non résolues, — nébuleuses diffuses, — dont la position a été déterminée en ascension droite et en déclinaison, était, en 1852 (d'après le *Cosmos* d'Alex. de Humboldt), de 3926 ; sur ce nombre, 2451, la plupart découvertes ou déterminées par W. Herschel, appartiennent à l'hémisphère boréal ; les autres, au nombre de 1475, presque toutes découvertes par John Herschel, sont de l'hémisphère austral.

Une chose digne de remarque, c'est que les grandes nébuleuses, non résolues, d'Andromède et d'Orion ne produisent pas, dans l'œil de l'observateur, ces élancements que donne l'aspect des nébuleuses résolubles, ces mouvements instinctifs qui semblent solliciter la vision à devenir plus nette, pour mieux préparer l'esprit à un spectacle digne de son essence, à des échappées de vues sur des univers lointains.

La connaissance des nébuleuses forme encore la branche la moins avancée de l'astronomie. C'est cependant l'étude la plus propre à donner à l'homme la conscience de l'infini, qui devrait l'accompagner dans toutes ses pensées et dans toutes ses actions.

CHAPITRE XII.

QUESTION DE L'HABITABILITÉ DES CORPS CÉLESTES.

Par un inéluctable égoïsme inné, l'homme, collectif ou individuel, rapporte tout à lui-même, et il n'admet rien au-dessus de lui, si ce n'est par pure contemplation. Voilà pourquoi il se passera encore bien du temps avant qu'on admette universellement la pluralité des mondes, en tant qu'habités par des êtres intelligents, plus ou moins semblables à notre espèce. La grande question que nous venons de toucher, plus d'une fois soulevée par les anciens, fut pour la première fois sérieusement posée par Huygens, dans son ouvrage posthume, intitulé : *Cosmotheoros, sive de Terris cœlestibus earumque ornatu conjecturæ;* La Haye, 1698, in-4°. Le célébre physicien-astronome y essaye de prouver que toutes les planètes, et même les étoiles, sont habitées. Les raisons qu'il donne, souvent reproduites depuis, reposent presque toutes sur l'analogie. Comme s'il avait prévu qu'on pourrait manifester quelque surprise à le voir s'occuper de pareilles choses, il répond d'avance : « Si quelqu'un objecte que nous prenons une peine inutile et que notre travail ne sert de rien, je dirai qu'on devrait par la même raison rejeter toute l'étude de la physique, en ce qu'elle a à découvrir les causes de ce qui se passe

dans la nature, science où c'est déjà beaucoup se faire estimer que d'avoir découvert des choses vraisemblables. Mais, pour disposer ces conjectures avec art, il ne faut pas oublier qu'il y a plusieurs degrés de vraisemblance et de probabilité : c'est à en faire un juste discernement que consiste l'usage de la raison.... Ceux qui reviennent de voyages lointains jugent d'ordinaire plus sainement de leur pays natal que ceux qui n'ont jamais quitté leur pays. De même aussi celui qui réfléchit en lui-même à la pluralité des Terres semblables à la nôtre, ne regardera pas comme de grandes merveilles ce qui se passe ici dans l'esprit du commun des hommes.... Nous croyons donc qu'il y a dans les planètes des corps qui se meuvent, qui se transportent d'un lieu dans un autre, qui ne sont en rien inférieurs à ceux qui sont sur la Terre; enfin, qu'il y a des animaux et des plantes qui servent à la nourriture de ceux qui les habitent. » Puis, l'auteur ajoute : « Ce qui m'oblige de croire qu'il y a dans les planètes un animal raisonnable, c'est que sans cela notre Terre serait extraordinairement privilégiée (et cependant c'est une des planètes les plus petites); elle serait trop élevée en dignité (elle n'est cependant ni la plus proche, ni la plus éloignée du Soleil) par-dessus les autres planètes si elle avait un animal si fort élevé au-dessus de tous les animaux.... En un mot, est-il bien raisonnable de penser que des corps célestes, parmi lesquels notre Terre occupe un rang si infime, n'aient été créés qu'afin que nous autres petits hommes puissions jouir de leur lumière et contempler leur situation et leur mouvement? »

Ces idées d'Huygens donnèrent naissance à un ouvrage, devenu populaire, les *Entretiens sur la pluralité des mondes* (1686), par Fontenelle, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, mort centenaire en 1757. Pour réduire à néant, entre autres, les objections soulevées par les théologiens, Fontenelle s'est servi d'une argumentation que nous croyons devoir reproduire : « Il est, dit-il, des

personnes qui s'imaginent qu'il y a du danger, par rapport à la religion, à mettre des habitants ailleurs que sur la Terre; mais il faut démêler ici une petite erreur d'imagination. Quand on vous dit que la Lune est habitée, vous vous représentez aussitôt des hommes faits comme nous; et puis, si vous êtes un peu théologien, vous voilà plein de difficultés : la postérité d'Adam n'a pu s'étendre jusqu'à la Lune, ni envoyer des colonies dans ces pays-là. Les hommes qui sont dans la Lune ne sont donc pas des fils d'Adam.... L'objection roule donc tout entière sur ces hommes de la Lune; mais ce sont ceux qui la font, à qui il plaît de mettre des hommes dans la Lune; moi, je n'y en mets point : j'y mets des habitants, qui ne sont point du tout des hommes. »

Le mathématicien-astronome Lambert, qui, pas plus que Huygens et Fontenelle, n'était un rêveur, raisonne ainsi sur l'habitabilité des corps célestes : « Si tout a été fait avec dessein, si tous les corps sont liés entre eux par une même loi, nous serons nécessairement amenés à admettre que tous les globes de l'univers sont habitables ou habités; dans tous les lieux où il y a des points de vue, nous placerons des observatoires et des observateurs. Ne voyons-nous pas déjà sur la Terre tout plein de vie? Dans un grain de sable, dans une goutte d'eau, nous apercevons des mondes et des habitants; encore nos meilleurs microscopes ne nous montrent-ils que les baleines et les éléphants de ces mondes; ils sont bien éloignés d'atteindre jusqu'aux insectes. Et l'on voudrait que tous ces vastes corps qui nagent avec nous autour du Soleil, et qui en reçoivent, comme nous, la lumière et la chaleur, fussent dénués d'êtres vivants? Je ne connais point d'opinion plus déraisonnable, ni plus indigne d'un homme qui pense.... Ceci doit s'entendre, non-seulement de notre système planétaire, mais de tous les mondes sans exception. Chaque étoile régit un monde aussi rempli et peuplé que le nôtre à proportion de sa capacité, et ces mondes sont en aussi

grand nombre que le permet la capacité de l'univers entier qui les renferme. Quel beau, quel ravissant spectacle que cette machine immense qui se meut et entretient ses mouvements variés à l'infini par la loi la plus simple, par le seul principe de la gravitation. C'est ici le chef-d'œuvre de l'intelligence créatrice.... Nous voulons que tous les globes soient habités. Mais sont-ils tous habitables? Les comètes semblent ici faire une exception. Comment concevoir, en effet, que des êtres vivants puissent se conserver dans un domicile qui passe au périhélie et à l'aphélie par les dernières extrémités du chaud et du froid?... Mais il n'y a aucune nécessité que tous les êtres vivants soient faits comme nous. Il est infiniment vraisemblable qu'il règne de globe en globe une organisation relative au besoin des êtres qui les peuplent, assortissante aux lieux de leur demeure et aux changements de température qu'il leur faut subir. N'est-on pas également revenu du préjugé qui depuis longtemps avait fait regarder la zone torride et la zone glaciale comme inhabitables? N'y a-t-il donc que des hommes sur la Terre même? Et si nous n'eussions jamais vu ni poisson, ni oiseau, ne serions-nous pas également fondés à regarder les eaux et les airs comme dépeuplés? Sommes-nous bien sûrs que le feu n'ait pas ses habitants invisibles, dont les corps soient d'asbeste ou de quelque autre substance impénétrable à la flamme? Disons que la nature des êtres qui peuplent les comètes nous est inconnue; mais ne nions pas leur existence et encore moins leur possibilité[1]. »

Kant, dont la philosophie repose sur le scepticisme, regardait comme également contraire à la raison et à la science de considérer les globes célestes comme non habitables ou non habités. Mais il admettait en même temps des restrictions fondées sur l'analogie. « Il n'est pas, disait-il, absolument nécessaire que, par exemple, toutes

1. Lambert, *Cosmologische Briefe,* p. 44 et suiv.

les planètes soient habitées. Au milieu des richesses de la nature, quand on songe que, relativement au grand Tout, les mondes ne sont que des atomes, il peut y avoir, comme sur la Terre, des régions désertes et inhabitées. Dans l'océan Pacifique il y a des îlots déserts. Pourquoi, dans l'océan de l'univers n'y aurait-il pas des îlots dénués de populations?... Peut-être aussi y a-t-il des corps célestes qui sont encore en voie de formation, conséquemment impropres à recevoir la vie. » — Après s'être arrêté sur la dépendance réciproque de l'esprit et de la matière, le grand philosophe cherche à établir une sorte de proportionnalité entre la force pensante, la ténuité de la matière et la distance des globes à l'astre central[1].

La question de l'habitabilité des corps célestes, question qui exige, pour être convenablement traitée, la réunion de presque toutes les connaissances humaines, a été reprise de nos jours par Plisson (*Les Mondes;* Paris, 1847), par le docteur Whewell (*On the Plurality of Worlds, an Essay*, Lond., 1853), par David Brewster (*More Worlds than One;* Londres, 1854), et par M. Flammarion (*la Pluralité des mondes;* Paris, 1864).

En rendant compte de ce dernier ouvrage (dans le *Cosmos*, année 1864), nous disions : « Le ciel même semble solliciter l'homme à ne plus se croire l'alpha et l'oméga de la création. La lumière de l'astronomie, disait Kepler, nous viendra de Mars. Ce fut, en effet, par les observations de cette planète que l'immortel astronome parvint à la découverte des lois qui conduisirent Newton à l'idée de la gravitation universelle. Eh bien ! l'observation des taches de Mars servira peut-être un jour de point de départ à l'intégration de la force vitale dans la continuité infinie. » Notre prédiction paraît être en voie de s'accomplir.

1. Kant, *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*, p. 125 et suiv.

FIN DE L'HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE.

TABLE DES MATIÈRES.

LIVRE I.

LES ORIGINES DE LA SCIENCE.

LIVRE II.

ASTRONOMIE ANCIENNE.

LIVRE III.

ASTRONOMIE GRECQUE.

LIVRE IV.

ASTRONOMIE ROMAINE, ARABE ET OCCIDENTALE.

LIVRE V.

ASTRONOMIE MODERNE. AVÉNEMENT DE L'IDÉE PYTHAGORICIENNE. LES FONDATEURS DE L'ASTRONOMIE MODERNE.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

3916 — Paris Imp. Laloux fils et Guillot, 7, rue des Canettes.

